

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção



**Benefícios Obtidos na Colaboração entre Sistemas MES e Sistemas
de Manufatura Digital do PLM - Diagnóstico**

Evandro Bertoni da Gama

Dissertação de Mestrado

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia

Departamento de Engenharia de Produção

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**Benefícios Obtidos na Colaboração entre Sistemas MES e Sistemas de
Manufatura Digital do PLM - Diagnóstico**

Evandro Bertoni da Gama

Orientador: Prof. Dr. Miguel Antonio Bueno da Costa

Dissertação de mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
como requisito para obtenção do título de
Mestre em Engenharia de Produção

Junho de 2011

São Carlos, SP, Brasil

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

G184bo

Gama, Evandro Bertoni da.

Benefícios obtidos na colaboração entre sistemas MES e sistemas de manufatura digital do PLM - Diagnóstico / Evandro Bertoni da Gama. -- São Carlos : UFSCar, 2011. 241 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2011.

1. Engenharia de produção. 2. Gerenciamento do ciclo de vida do produto. 3. Simulação. 4. Fábrica virtual. 5. Sistema de execução de manufatura. 6. Planejamento de processos de manufatura. I. Título.

CDD: 658.5 (20^a)



FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno(a): Evandro Bertoni da Gama

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DEFENDIDA E APROVADA EM 21/06/2011 PELA
COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Miguel Antonio Bueno da Costa
Orientador(a) PPGEP/UFSCar

Prof. Dr. Paulo Rogério Politano
DC/PPGEP/UFSCar

Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto
EESC/USP

Prof. Dr. Antonio Carlos Dantas Cabral
DÉP/IMV

Prof. Dr. Roberto Antonio Martins
Coordenador do PPGEP

A Deus, minha família e todos que colaboraram com esforço e dedicação para a conclusão dessa dissertação. Em especial, aos meus pais Elias e Maria Emira (*in memoriam*), minha esposa Natália, minhas filhas Carolina e Isabela e meus irmãos Edmilson e Euclides.

Muita luz.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Néocles Alves Pereira, que me incentivou e proporcionou o entusiasmo para cursar o Programa de Mestrado do Departamento de Engenharia de Produção (DEP) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Agradeço ao Prof. Dr. Miguel Antonio Bueno da Costa do PPG-EP/UFSCar, meu orientador, que ofereceu em todos os momentos o apoio necessário para a conclusão deste trabalho.

Agradeço aos participantes da banca examinadora Prof. Dr. Paulo Rogério Politano (PPG-CC/PPG-EP/UFSCar), Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto (PPG-AEM-EESC/USP) e Prof. Dr. Antonio Carlos Dantas Cabral (PPG-EP/IMT - Instituto Mauá de Tecnologia). Também agradeço ao Prof. Dr. Roberto Antonio Martins, Coordenador do Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos.

Agradeço a todos os professores que proporcionaram o enriquecimento e o aprimoramento da minha educação em Engenharia de Produção: Prof. Dr. Alceu Gomes Alves Filho (PPG-EP/UFSCar), Prof. Dr. Francisco José da Costa Alves (PPG-EP/UFSCar), Prof. Dr. Flávio César Faria Fernandes (PPG-EP/UFSCar), Prof. Dr. Moacir Godinho Filho (PPG-EP/UFSCar), Prof^a Dr. Andrea Lago da Silva (PPG-EP/UFSCar), Prof. Dr. Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki (PPG-EP - Escola Politécnica/USP), Prof. Dr. Gilberto Montibeller (DM/LSE - London School of Economics and Political Science - UK).

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. (2011) **Benefícios Obtidos na Colaboração entre Sistemas MES e Sistemas de Manufatura Digital do PLM – Diagnóstico**. São Carlos/SP. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFSCar - Universidade Federal de São Carlos.

Uma condição necessária para a eficiência econômica das fábricas modernas é a habilidade de adequar - de forma mais rápida e melhor possível - o desempenho dos processos de manufatura às decisões de solicitação de demanda. Nesse sentido, ressaltou-se a importância de compreender as melhores práticas de Tecnologia da Informação (TI) e o cenário comercial de soluções que utilizam dados reais de chão-de-fábrica em ambientes virtuais de simulação e os vários benefícios obtidos. O destaque desta pesquisa ficou por conta de explorar a colaboração (prática de competências para a obtenção de resultados mutuamente vantajosos) entre os sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*) e os sistemas de manufatura digital (também chamada fábrica virtual) do PLM (*Product Lifecycle Management*), num cenário onde os processos de manufatura impõem alta flexibilidade, confiança e menores tempos de entrega, ampla combinação de variantes e menores ciclos de vida de produtos. A pesquisa - de forma exploratória e descritiva, que identificou o conhecimento disponível sobre o tema mais acentuadamente entre os anos de 2006 e 2010 - foi embasada nas práticas de instituições e empresas mundialmente reconhecidas, e considerou opiniões e avaliações de profissionais e pesquisadores renomados nas iniciativas que apóiam a utilização de dados das soluções MES em sistemas de manufatura digital do PLM para o planejamento de processos de manufatura. Como resultado dos cenários estudados e conceitos abordados, a pesquisa consolidou um “diagrama de colaboração da informação”, com o propósito de auxiliar melhores tomadas de decisão no âmbito do projeto de chão-de-fábrica, planejamento de processos e gerência da produção. A pesquisa ainda concluiu quanto os sistemas MES podem ter seu valor ampliado se integrados dentro das características de funcionalidades do conceito PLM, trouxe algumas recomendações e limitações sobre a portabilidade das informações, comentou sobre as lições aprendidas e apresentou sugestões de trabalhos futuros que inclui o gerenciamento de processos de negócios BPM (*Business Process Management*).

Palavras-chave: MES (*Manufacturing Execution Systems*); PLM (*Product Lifecycle Management*); Simulação; Manufatura Digital; DM (*Digital Manufacturing*); Fábrica Virtual; Planejamento de Processos de Manufatura.

ABSTRACT

GAMA, E.B. (2011) **Benefits Obtained in Collaboration between MES Systems and Digital Manufacturing Systems of PLM – Diagnostic**. São Carlos/SP. Dissertation (Masters Degree) - Postgraduate Education Program on Industrial Engineering - UFSCar - Federal University of São Carlos.

A necessary condition for the economic efficiency of modern plants is the ability to adjust - as quickly and effectively as possible - the performance of manufacturing process for demand request decisions. In this sense, the research emphasized the importance of understanding the best practices in Information Technology (IT) and the trade scenario of solutions using shop-floor real data in virtual environments for simulation and many achieved benefits. The highlights of this research focused on exploring the collaboration (practice of skills for the achievement of mutually beneficial results) between the MES (Manufacturing Execution Systems) and the digital manufacturing systems (also called virtual manufacturing systems) of PLM (Product Lifecycle Management), in a scenario where the manufacturing processes require high flexibility, reliability and lower delivery times, extensive combination of variants and lower life-cycle of products. The research - in an exploratory and descriptive way, which identified the available knowledge on the subject more sharply between the years 2006 and 2010 - was grounded in the practices of world-renowned companies and institutions and considered opinions and evaluations of renowned researchers and professionals with expertise in initiatives to support the use of MES solutions data in systems of digital manufacturing of PLM to manufacturing processes planning. As a result of the studied scenarios and covered concepts, the research has consolidated a "diagram of information collaboration", with the aim of providing better decision choices within the framework of shop-floor project, processes planning and production management. The research also concluded that the MES systems may have their value extended if integrated within the characteristics of functionalities of the PLM concept. It also brought some recommendations and limitations on the portability of information, commented on the learned lessons and suggestions for future tasks that include the BPM (Business Process Management).

Keywords: MES (Manufacturing Execution Systems); PLM (Product Lifecycle Management); Simulation; DM (Digital Manufacturing); Virtual Factory; Manufacturing Processes Planning.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
SUMÁRIO	VIII
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABELAS	XVIII
LISTA DE SIGLAS	XIX
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 RESULTADOS E BENEFÍCIOS ESPERADOS	3
1.3 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA	7
1.4 MÉTODOS DE PESQUISA	8
1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA	9
CAPÍTULO 2 - VISÃO GERAL – SISTEMAS MES, SIMULAÇÃO E MANUFATURA DIGITAL, PLM e INTEGRAÇÃO PLM/ERP	12
2.1 VISÃO GERAL DOS SISTEMAS MES	12
2.1.1 Padronização dos Sistemas MES	14

2.1.1.1 - MESA - Manufacturing Enterprise Solutions Association	14
2.1.1.2 - ISA - Setting the Standards for Automation	22
2.1.1.3 - NAMUR (International User Association of Automation Technology in Process Industries)	47
2.1.1.4 - VDI (Verein Deutsche Ingenieure)	48
2.1.2 Estrutura dos Sistemas MES	49
2.1.2.1 MES - Grupo de Função Produção	57
2.1.2.2 MES - Grupo de Função Qualidade	58
2.1.2.3 MES - Grupo de Função Recursos Humanos	60
2.1.3 MES - Integração Vertical e Horizontal	62
2.1.4 Principais “ <i>players</i> ” do mercado de MES	67
2.2 VISÃO GERAL - SIMULAÇÃO, MANUFATURA DIGITAL DM (<i>DIGITAL MANUFACTURING</i>), PLM E INTEGRAÇÃO PLM/ERP	92
2.2.1 Ambientes de tomadas de decisão e a conceituação da simulação em sistemas de produção	93
2.2.2 Manufatura Digital DM (<i>Digital Manufacturing</i>)	98
2.2.3 PLM - <i>Product Lifecycle Management</i> - Conceituação	101
2.2.4 PLM e Integração com ERP - <i>Enterprise Resource Planning</i>	105
2.3 MES E PLM NO CENÁRIO DA COLABORAÇÃO DE SOLUÇÕES DE TI	107
2.4 O GERENCIAMENTO DAS DEFINIÇÕES DO PRODUTO - cPDm	117
2.5 PRINCIPAIS “ <i>PLAYERS</i> ” DO MERCADO DE PLM	121
2.6 A EVOLUÇÃO DO MERCADO DE AUTOMAÇÃO - OS PASSOS DO PLM NO CHÃO-DE-FÁBRICA	132

CAPÍTULO 3 - MANUFATURA DIGITAL: DELMIA E TECNOMATIX - VISÃO DASSAULT SYSTÈMES E SIEMENS PLM SOFTWARE	140
3.1 DASSAULT SYSTÈMES	141
3.1.1 Visão Dassault Systèmes sobre Manufatura Digital e Simulação	142
3.1.2 Suíte Delmia da Dassault Systèmes	156
3.2 SIEMENS PLM SOFTWARE	162
3.2.1 Visão Siemens PLM Software sobre Manufatura Digital e PLM	163
3.2.2 Tecnomatix – Visão Geral e Características	168
CAPÍTULO 4 - MES E PLM NO CHÃO-DE-FÁBRICA - CENÁRIOS	175
4.1 MES - SIMATIC IT DA SIEMENS AG	176
4.2 MES - TECNOMATIX DA SIEMENS PLM SOFTWARE	185
4.3 MES “PERTINENCE SUITE POWERED BY VELOCITY” DA INTERCIM	188
4.3.1 Entendendo como a Intercim pensa a Manufatura Digital do PLM no Chão-de-Fábrica	189
4.3.2 Estudo das Características e Capacidades da Solução MES “Pertinence Suite Powered by Velocity” da Intercim e Posicionamento de Mercado	193
4.3.3 <i>Framework</i> (estrutura) e Funções da Solução MES “Pertinence Suite Powered by Velocity” da Intercim	200
4.3.4 Características e Tecnologia Empregada na Solução MES “Pertinence Suíte Powered by Velocity” da Intercim	206
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	211
5.1 RECOMENDAÇÕES - PORTABILIDADE DAS INFORMAÇÕES	217
5.2 LIÇÕES APRENDIDAS - PLM, MES E ERP	218

5.3 TRABALHOS FUTUROS - BPM (<i>Business Process Management</i>)	219
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	224
ANEXO I: GLOSSÁRIO DE TERMOS ESTRANGEIROS	230

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Plataforma de Integração ERP, MES e PLM – (Elaborado pelo autor)	06
Figura 2.1 – Hierarquia de camadas adotada pela MESA - MES, ERP e áreas funcionais – Fonte: MESA - Manufacturing Execution System Association (Adaptado)	13
Figura 2.2 – ISA DISTRITO 4 - Associação Sul-Americana de Automação - Fonte: Website ISA - (www.isa.org)	24
Figura 2.3 – Fluxo de Informações de Manufatura – Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006)	30
Figura 2.4 – Definição do Modelo de Objetos: Modelo de Equipamento (Parte 1 da Norma ANSI/ISA-S95) - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006)	31
Figura 2.5 – Esquema .xsd para a Propriedade de Equipamento B2MML - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006)	33
Figura 2.6 – Modelo de Gerenciamento de Operações de Manufatura (Segundo a Parte 3 da Norma ANSI/ISA-S95 - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006)	34
Figura 2.7 – Modelo de Atividades de Gerenciamento de Operações de Produção (Segundo a Parte 3 da Norma ANSI/ISA-S95 - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006)	35
Figura 2.8 – Mudança nas características do processo influencia as regras de negócio (Gifford) - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006) – (Adaptado)	36
Figura 2.9 – Fronteiras de Responsabilidade entre Sistemas ERP e Sistemas MES - D=Discreto, B=Batelada, C=Contínuo (Segundo a Parte 3 da Norma ANSI/ISA-S95 - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006)	37
Figura 2.10 – Linha de Integração entre Sistemas ERP e Sistemas MES de Manufatura (Segundo a Parte 3 da Norma ANSI/ISA-S95) - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006) - (Adaptado)	37

Figura 2.11 – Evolução tecnológica dos sistemas de automação - Fonte: Woll, Dave (2009) - Item 1.4 do Capítulo 1 da obra “Collaborative Process Automation Systems” – (Adaptado)	40
Figura 2.12 – Visão funcional do CPAS (<i>Collaborative Process Automation Systems</i>) - Fonte: Woll, Dave (2009) - Item 1.4 do Capítulo 1 da obra “Collaborative Process Automation Systems”	43
Figura 2.13 – Visão lógica do CPAS (<i>Collaborative Process Automation Systems</i>) - Fonte: Woll, Dave (2009) - Item 1.4 do Capítulo 1 da obra “Collaborative Process Automation Systems” - (Adaptado)	44
Figura 2.14 – Visão da aplicação modelo do CPAS (<i>Collaborative Process Automation Systems</i>) - Fonte: Woll, Dave (2009) - Item 1.4 do Capítulo 1 da obra “Collaborative Process Automation Systems”	45
Figura 2.15 – Recomendações do Grupo NAMUR apoiadas nas definições da norma ANSI/ISA-95 - Fonte: Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution System – MES	47
Figura 2.16 – Arquitetura ISA de três níveis - Fonte: Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution System – MES	50
Figura 2.17 – Grupos de funções de um sistema MES - Fonte: Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution System – MES – (Adaptado)	54
Figura 2.18 – Influência dos sistemas MES em diferentes níveis e horizontes de tempo - Fonte: Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution System – MES – (Adaptado)	64
Figura 2.19 – Funcionalidades dos sistemas MES para diferentes tipos de manufatura - Fonte: Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution System – MES	65
Figura 2.20 – Sistemas MES – Integração Vertical e Horizontal - Fonte: Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution System – MES	66
Figura 2.21 – Exemplos de aplicação da Manufatura Digital – Suíte de soluções Tecnomatix - Fonte: Siemens PLM Software (2006)	98
Figura 2.22 – Modelo do Ciclo de Vida do Produto PLM - Fonte: Adaptado de Grieves (2006)	104

- Figura 2.23** – Domínios de Conhecimento do ERP e Funções do PLM. Fonte: Grieves (2006) – (Adaptado) **106**
- Figura 2.24** – Integração do cenário de TI dentro e fora da empresa - Fonte: Kletti (2007) – (Adaptado) **108**
- Figura 2.25** – Iniciativas estratégicas do Modelo P2E proposto pela MESA - Fonte: www.mesa.org (Adaptado) **110**
- Figura 2.26** – A estrutura funcional do modelo c-MES oferecido pela MESA - Fonte: Jürgen Kletti (2007) **111**
- Figura 2.27** – Visão geral da estrutura de integração entre MES e PLM, e demais níveis em um ambiente de manufatura. - Fonte: Guia MESA “Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook” - Referência: Manufatura de ciclo fechado (*closed-loop*), apresentação para Analysts NYC, Giorgio Cuttica – Siemens - (Adaptado) **112**
- Figura 2.28** – Fluxo de informações no ambiente de uma indústria de manufatura, na fase de engenharia. - Fonte: Guia MESA “Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook” **113**
- Figura 2.29** – Processos de Manufatura: Relação Fábrica Digital e Fábrica Real - Fonte: Guia MESA “Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook” **116**
- Figura 2.30** – Ciclo de vida do produto - composto por três processos básicos. Fonte: CIMdata **120**
- Figura 2.31** – PLM e ERP com diferentes pontos de interação no ciclo de vida de um produto. Fonte: Artigo CIMdata (PLM - Automation Market Evolution - The PLM Footprint Steps onto the Factory Floor) **134**
- Figura 2.32** – Visão geral das áreas de cobertura que são apoiadas pelas iniciativas PLM. Fonte: Artigo CIMdata (PLM - Automation Market Evolution - The PLM Footprint Steps onto the Factory Floor) **135**
- Figura 2.33** – Aberdeen Group confirma a premissa estabelecida pela CIMdata em delinear que uma estrutura de manufatura consiste de processos de negócios e comerciais, processos

de inovação do produto e processos de execução de produção - Fonte: Guia MESA “Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook” – (Adaptado)	139
Figura 3.1 – Evolução dos processos “ <i>design-to-build</i> ” desde os anos 70 até a captura do conhecimento no moderno PLM nos dias atuais. Fonte: ARC Advisory Group	146
Figura 3.2 – Regra de planejamento, modelos, simulação e dados na fábrica digital (<i>Digital Factory</i>), atrelando a fábrica real e a fábrica virtual. Fonte: Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation	147
Figura 3.3 – Comparação entre a tradicional abordagem de manufatura, sem o uso de simulação, e o uso da fábrica digital. Fonte: Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation	148
Figura 3.4 – Validação do produto – mundo físico versus mundo virtual – considerando tempo, custo de modificação e possibilidades de modificação. Fonte: Dassault Systèmes	149
Figura 3.5 – Várias formas de simulação na manufatura digital. Fonte: Dassault Systèmes	150
Figura 3.6 – Manufatura digital: modelo de quatro passos. Fonte: Dassault Systèmes	151
Figura 3.7 – Processo PLM ideal da Dassault Systèmes denominado “ <i>design-to-build</i> ”. Fonte: Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation - (Adaptado)	152
Figura 3.8 – “ <i>Loop</i> ” (ciclo) de retroalimentação - controle operacional e otimização. Fonte: Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation	155
Figura 3.9 – Arquitetura V6 da Dassault Systèmes - Concentração e distribuição de dados. Fonte: Dassault Systèmes’ V6 Platform TCO	160
Figura 3.10 – Planejamento eletrônico de processos da Siemens PLM Software. Fonte: “CXOs: Meet your new core competency - digital manufacturing”	167
Figura 3.11 – Esquema da hierarquia dos módulos do software Tecnomatix. Fonte: Siemens PLM Software	170

- Figura 4.1** – Amplitude da suíte MES Simatic IT da Siemens AG. Fonte: <http://www.automation.siemens.com/mcms/automation/en/manufacturing-execution-system-mes/Pages/Default.aspx> **177**
- Figura 4.2** – Proposta do SIMATIC IT Production Suite - Combinar a modelagem de processos de negócios que inclui o nível de automação e controle com as soluções ERP, PLM e SCM. Fonte: http://www.automation.siemens.com/mcms/mes/en/mes_suites/production_suite/Pages/Default.aspx - (Adaptado) **178**
- Figura 4.3** - Arquiteturas dos módulos SIMATIC IT R&D Suite e SIMATIC IT Production Suite. Fonte: http://www.automation.siemens.com/mcms/mes/en/mes_suites/rdsuite/Pages/Default.aspx **179**
- Figura 4.4** – Estrutura (*framework*) do Plant Intelligence. Fonte: <http://www.automation.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/visualization-software/scada/simatic-wincc/wincc-plant-intelligence/Pages/Default.aspx> **184**
- Figura 4.5** – Pontos de integração da suíte de software MES Tecnomatix no conceito de empresa estendida. Fonte: http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/tecnomatix/library.shtml **186**
- Figura 4.6** – Manufatura: Intersecção entre o fluxo do PLM e a cadeia de valor do ERP. Fonte: Artigo de Plapp (2008) da Intercim (Pertinence Suite Powered by Velocity: Intercim’s MES Solution) **194**
- Figura 4.7** – Relatório AMR Research: “2007 Manufacturing Business Strategies” (Estratégias de Negócios de Manufatura 2007). Fonte: Artigo de Plapp (2008) da Intercim (Pertinence Suite Powered by Velocity: Intercim’s MES Solution) **195**
- Figura 4.8** – Modelo MESA International denominado “MESA’s Next Generation Collaborative MES Model” (Maio de 2004). Fonte: Artigo de Plapp (2008) da Intercim (Pertinence Suite Powered by Velocity: Intercim’s MES Solution) **198**
- Figura 4.9** – Diagrama de capacidades e funções da solução MES “Pertinence Suite Powered by Velocity” da Intercim. Fonte: Website Intercim - (www.intercim.com) - (Adaptado) **200**

Figura 4.10 – Características de arquitetura da suíte “Pertinence”. Fonte: Website Intercim - (www.intercim.com)	207
Figura 5.1 – Manufatura digital em um ambiente PLM estendido. Fonte: Artigo “Maturity Assessment of Digital Manufacturing Initiative” de Yogesh Modak	214
Figura 5.2 – Diagrama de Colaboração da Informação - Cenário de colaboração da informação como resultado da pesquisa - (Elaborado pelo autor)	216

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Atributos de Objetos de Equipamento (Parte 2 da Norma ANSI/ISA-S95) - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006)	32
Tabela 2.2 – Atributos de Objetos de Propriedade de Equipamento (Parte 2 da Norma ANSI/ISA - 95) - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006)	32
Tabela 2.3 – Bibliografia de autores que situam e contextualizam os sistemas MES - Fonte: Diversas	55
Tabela 2.4 – Principais “ <i>players</i> ” do mercado mundial de MES (Associados <i>Solution Provider</i> da MESA International) - Fonte: MESA (www.mesa.org)	68
Tabela 2.5 – Principais “ <i>players</i> ” do mercado brasileiro de MES Fonte: Google (www.google.org)	83
Tabela 2.6 – Principais “ <i>players</i> ” do mercado mundial de PLM (ARC Advisory Group) - Fonte: ARC Advisory Group (http://www.arcweb.com/Domains/PLM/default.aspx)	122
Tabela 2.7 – Principais “ <i>players</i> ” do mercado mundial de PLM - Manufatura Digital (CIMdata - Global Leaders in PLM Consulting) - Fonte: CIMdata - (http://www.cimdata.com/plm/solution_suppliers/digital_manufacturing.html)	127
Tabela 4.1 – Características de arquitetura da suíte “Pertinence”. (Tecnologias utilizadas e características Cliente-Servidor da suíte “Pertinence Suite Powered by Velocity”) - Fonte: Website Intercim - (www.intercim.com)	209

LISTA DE SIGLAS

ADO	<i>ActiveX Data Objects</i>
AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i>
AIS	<i>Advanced Integrated Service</i>
ANSI	American National Standards Institute
APQP	<i>Advanced Product Quality Planning</i>
APS	<i>Advanced Planning and Scheduling</i>
ARC	Automation Research Corporation
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
B2MML	<i>Business to Manufacturing Markup Language</i>
BI	<i>Business Intelligence</i>
BofP	<i>Bill of Process</i>
BOM	<i>Bill of Materials</i>
BOP	<i>Bill of Process</i>
BPCS	<i>Basic Process Control System</i>
BPM	<i>Business Process Management</i>
BSC	<i>Balanced Scorecard</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAPP	<i>Computer Aided Process Planning</i>

CeBIT	Feira Internacional de Tecnologia da Informação, Telecomunicações, Softwares e Serviços
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CEP	Controle Estatístico de Processos
CFR	<i>Code of Federal Regulations (of the United States)</i>
CGMP	<i>Current Good Manufacturing Practice</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CLP	<i>Controladores Lógicos Programáveis</i>
CNC	<i>Computer Numerical Controls</i>
COTS	<i>Commercial-off-the-Shelf</i>
CPAS	<i>Collaborative Process Automation System</i>
CPD	<i>Collaborative Product Development</i>
cPDm	<i>collaborative Product Definition management</i>
CP	Controladores Programáveis
CPP	<i>Centro de Competência Profibus</i>
CRM	<i>Customer Relations Management</i>
CSM	<i>Component Supplier Management</i>
CTP	Centro de Treinamento Profibus
DA	<i>Data Access</i>
DB	<i>Database</i>
DCS	<i>Distributed Control Systems</i>
DFM	<i>Design for Manufacturing</i>

DFSS	<i>Design for Six Sigma</i>
DFX	<i>Design for Assembly, Design for Manufacturing</i>
DM	<i>Digital Manufacturing</i>
DMU	<i>Digital Mockup</i>
DNC	<i>Distributed Numerical Control</i>
DoD	U. S. Department of Defense
DPI	<i>Digital Process Integrator</i>
DPV	<i>Digital Work Instruction Player</i>
DS	Dassault Systèmes
ECO	<i>Engineering Change & Work Order Management</i>
EDA	<i>Electronic Design Automation</i>
EDM	<i>Engineering Data Management</i>
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EMEA	<i>Europe, Middle East, Africa</i>
EMI	<i>Enterprise Manufacturing Intelligence</i>
EPA	Environmental Protection Agency
EPM	<i>Emergent Process Management</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ETO	<i>Engineer to Order</i>
EUA	Estados Unidos da América
FDA	Food and Drug Administration

GAMP	<i>Good Automated Manufacturing Practice</i>
GLP	<i>Good Laboratory Practice</i>
GUI	<i>Graphical Users Interfaces</i>
HDA	<i>Historical Data Access</i>
HMI	Interface Homem/Máquina
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IP	<i>Intellectual Property</i>
ISA	Setting the Standards for Automation
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IT	<i>Information Technology</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LIMS	<i>Labory Information Management System</i>
LNG	<i>Liquefied Natural Gas</i>
MBOM	<i>Manufactuiring Bill of Materials</i>
MBR	<i>Master Batch Record</i>
MCAD	<i>Mechanical CAD</i>

MDC	<i>Machine Data Collection</i>
MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i>
MESA	Manufacturing Enterprise System Association
MOM	<i>Manufacturing Operations Management</i>
MOS	<i>Manufacturing Operation System</i>
MPL	<i>Material and Production Logistics</i>
MPM	<i>Manufacturing Process Management</i>
MRPII	<i>Manufacturing Resource Planning</i>
MS	Microsoft
MSc.	<i>Master of Science</i>
MTO	<i>Make to Order</i>
MTS	<i>Make to Stock</i>
NAMUR	Uma associação internacional de usuários de tecnologia de automação em indústrias de processos
NC	<i>Numerical Control</i>
NCM	<i>Non-Conformance Management</i>
NPDI	<i>New Product Development and Introduction</i>
NPI	<i>New Product Introduction</i>
NYSE	New York Stock Exchange
OA	<i>Operations Advisor</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>

OLE	<i>Object Linking and Embedding</i>
OLP	<i>Offline Programming</i>
OPC	<i>OLE for Process Control</i>
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
P&D	<i>Pesquisa e Desenvolvimento</i>
P2B	<i>Plant to Business</i>
P2E	<i>Plant-to-Enterprise</i>
PACs	<i>Programmable Automation Controllers systems</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PCC	Centro de Competência em PROFIBUS
PCP	Planejamento e Controle de Produção
PDA	<i>Production Data Acquisition</i>
PDM	<i>Product Data Management</i>
PDP	<i>Process Data Processing</i>
PE	<i>Process Execution</i>
PIM	<i>Plant Information Management</i>
PIMS	<i>Process Information Management System</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>

PP	<i>Process Planning</i>
PPI	<i>Product Performance Intelligence</i>
PPR	<i>Product, Process and Resources</i>
PPS	<i>Production Planning and Control System</i>
PRD	<i>Process Rules Discovery</i>
PT	<i>Performance Tracker</i>
PTC	Parametric Technology Corporation
QC	<i>Quality Control</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
ROI	<i>Return On Investment</i>
RPA	Regional PROFIBUS & PROFINET Association
RPM	<i>Real-time Performance Management</i>
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
SDCD	<i>Sistemas Digitais de Controle Distribuído</i>
SOA	<i>Service Oriented Architecture</i>
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SPC	<i>Statistical Process Control</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TA	<i>Tecnologia de Automação</i>
TCO	<i>Total Cost of Ownership</i>
TCS	<i>Tata Consulting Services</i>

TI	Tecnologia da Informação
TRM	<i>Tool and Resource Management and Transmission of Machine Settings</i>
UDDI	<i>Universal Description, Discovery and Integration</i>
UGS	Unigraphics Software
ULC	<i>Production Unit Live Collaboration</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
USDA	United States Department of Agriculture
USP	Universidade de São Paulo
VDI	Verein Deutsche Ingenieure
VSA	<i>Variation Analysis</i>
WBF	World Batch Forum
WEB	<i>World Wide Web</i>
WIP	<i>Work in Process</i>
WMS	<i>Warehouse Management Systems</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>
XSD	<i>XML Schema Definition</i>
XSLT	<i>Extensible Stylesheet Language Transformations</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Um sistema de produção transforma um conjunto de idéias e materiais em um produto ou solução com valor agregado. Uma fábrica, uma refinaria, um banco do setor financeiro, uma universidade, um escritório de serviços, uma fábrica de software, um hospital da rede pública, todos são considerados sistemas de produção. No geral, os sistemas de produção são divididos em duas classes: manufatura e serviços. Na manufatura os *inputs* e *outputs* são tangíveis e as transformações são freqüentemente físicas. Já os sistemas de produção orientados a serviços podem ter *inputs* e *outputs* intangíveis como, por exemplo, as informações - as transformações geralmente não são físicas. Os sistemas de produção incluem, via de regra, como componentes de seu conjunto de relações, os produtos, os 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 para que tudo funcione corretamente (SIPPER e BULFIN, 1997).

Sipper e Bulfin (1997) ainda afirmam que a espinha dorsal (*backbone*) de qualquer sistema de produção é o processo de manufatura, um fluxo que inclui dois elementos principais: materiais e informações (átomos e bits). O fluxo físico de materiais é tangível, porém as informações são intangíveis e geram um fluxo muito mais difícil de acompanhar. Esses dois tipos de fluxos sempre existiram e, no passado, o fluxo de informações tinha uma importância menor. Os sistemas de produção industrial foram redesenhados e estão cada vez mais dependentes de tecnologias que gerenciam o fluxo de informações. Na atual economia, os sistemas de produção estão dirigidos aos mercados e impõem um modelo atual de produção que considera a informação como vantagem competitiva. Kletti, Jürgen (2007)¹ afirma 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, para os quais muitas empresas não estão preparadas.

Uma condição necessária para a eficiência econômica das fábricas modernas é a habilidade de adequar - de forma mais rápida e melhor possível - o desempenho dos processos de manufatura às decisões de solicitação de demanda. Nesse sentido, ressalta-se a importância de compreender as melhores práticas de Tecnologia da Informação (TI) e o cenário comercial de soluções que utilizam dados reais de chão-de-fábrica em ambientes virtuais de simulação e os vários benefícios obtidos. O destaque desta pesquisa fica por conta de explorar a colaboração (prática de competências para a obtenção de resultados mutuamente vantajosos) entre os sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*) e os sistemas de manufatura digital (também chamada fábrica virtual) do PLM (*Product Lifecycle Management*), num cenário onde os processos de manufatura impõem alta flexibilidade, confiança e menores tempos de entrega, ampla combinação de variantes e menores ciclos de

¹ Dr. Jürgen Kletti é autor do livro *Manufacturing Execution System - MES*. Nasceu em 1948, estudou Engenharia Elétrica na Universidade de Karlsruhe - Alemanha, e se especializou em TI focada em engenharia. Após sua graduação fundou a empresa MPDV Mikrolab GmbH onde, atualmente, atua como CEO (*Chief Executive Officer*) e presidente. Desde 1990, a MPDV tem principalmente comercializado softwares, produtos e serviços para a indústria de manufatura. O principal produto da MPDV é o software HYDRA, um sistema com funções de MES, que apresenta inúmeras aplicações para aumento de eficiência.

vida de produtos (KLETTI, 2007), tendo como conseqüência a busca da inovação e a melhoria contínua para os processos de manufatura. Este cenário está embasado nas práticas de instituições e empresas mundialmente reconhecidas, e considera opiniões e avaliações de profissionais e pesquisadores renomados nas iniciativas que apóiam a utilização de dados das soluções MES em sistemas de manufatura digital do PLM para o planejamento de processos de manufatura.

Parte-se do fato de que o uso do conhecimento extraído de dados históricos de chão-de-fábrica provenientes de sistemas MES, quando aplicados em sistemas de fábricas virtuais do PLM, proporcionam melhores tomadas de decisão no âmbito do planejamento de processos produtivos. A proposta é apresentar - na forma de diagnóstico (descrição minuciosa) - as melhores práticas de mercado, com a finalidade de responder a seguinte pergunta:

- Quais os benefícios obtidos na colaboração entre sistemas MES e sistemas de Manufatura Digital do PLM no planejamento dos processos de manufatura?

1.2 RESULTADOS E BENEFÍCIOS ESPERADOS

Como contribuição científica, o principal resultado esperado desta pesquisa é saber se, de fato, os sistemas de execução de manufatura MES quando colaboram com a entrega de informações (dados reais de chão-de-fábrica) às funcionalidades dos sistemas de manufatura digital do PLM, que na prática representam ambientes virtuais de simulação, melhoram o desempenho do planejamento dos processos de manufatura, proporcionando maior eficiência nas tomadas de decisão. Ainda nesta pesquisa, espera-se um sumário da maturidade da manufatura digital do PLM, uma visão geral dos sistemas envolvidos e a síntese da colaboração das soluções de TI no “estado da arte” que integra o conceito PLM e valoriza a utilização do MES no planejamento e controle dos processos de manufatura.

Outros resultados são esperados do fato de simular e otimizar dados históricos de chão-de-fábrica em ambientes virtuais. Michael Grieves (2006)² reforça que o uso da

informação no planejamento da produção é de grande valia na análise e simulação do fluxo da fábrica. Na simulação pode-se descobrir substituições de equipamentos e alterações de layout desnecessárias, processos repetitivos, gargalos, redução de tempo de *setup*, redução do fluxo de materiais *WIP (Work in Process)* no ambiente de fábrica, ou outros problemas característicos de fluxo de produção. Um benefício importante é que uma lista de processos otimizada em um ambiente virtual, que é enviada para um sistema MES e recuperada por um ambiente de Planejamento e Controle de Produção (PCP) de um sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*), traz enormes vantagens para toda a cadeia de valor, incluindo a própria organização, fornecedores e clientes (GRIEVES, 2007).

Outros benefícios também são observados nas fases de fabricação do produto: a manufatura digital tem grande influência na construção do primeiro produto porque, dentro dos princípios de colaboração e engenharia simultânea e também porque os projetos são feitos com o auxílio do computador, diminui em muito os problemas de comunicação entre a engenharia de produtos e a engenharia de processos. Grieves (2006) enfatiza que existem diferenças entre o comportamento do produto digital e o produto físico e, nesse sentido, o MES, por armazenar dados reais de chão-de-fábrica, colabora em minimizar essas diferenças. O MES oferece aos sistemas virtuais dados reais de tempos de operação, consumo de materiais e mão-de-obra, dados de ergonomia, comportamento de equipamentos, assim como dados de variabilidade de processos, que se transformam ao longo do tempo, devido ao uso e desgaste dos recursos. Com o tempo de uso dos equipamentos, simulações que levam em conta apenas condições iniciais podem imprimir resultados inadequados se não levarem em consideração os dados oferecidos pelos sistemas MES.

Grieves (2006) ainda afirma que o objetivo principal da manufatura digital do PLM é eliminar a fase de produção piloto, o “*ramp-up*”. As técnicas e ferramentas de

² Dr. Michael Grieves é autor do livro *Product Lifecycle Management – Driving The Next Generation of Lean Thinking*. Fundou o *Product Lifecycle Management Development Consortium*, que pertence ao Colégio de Engenharia da Universidade de Michigan – EUA, e serviu como co-diretor. Desenvolveu o primeiro curso *on-line* com o nome de *Product Lifecycle Management Overview* para o Centro de Desenvolvimento Profissional do Colégio; organiza e preside o evento anual *Michigan AUTO IT Conference*. Grieves também é afiliado ao *MIS Department*, reconhecido como um departamento de nível internacional da Universidade do Arizona. Grieves trabalha com usuários e fornecedores de soluções PLM para empresas como General Eletric, IBM e Toyota e oferece estratégias e implementações PLM. Com 35 anos de experiência na indústria, Grieves ocupa o posto de mais alto nível na *Core Strategies Inc.*, uma empresa de consultoria em TI de reputação internacional, e ainda atua no quadro de diversas empresas de tecnologia.

simulação da manufatura digital permitem minimizar a curva de aprendizado e simular todos os testes de fabricação no computador. Afirma também que o primeiro produto físico deverá ser construído apenas quando as simulações que constroem o produto digital mostrarem que o consumo de recursos está minimizado ao máximo. Nesse caso, a lista de processos resultante é, então, disponibilizada de volta para o MES para ser aplicada no chão-de-fábrica ou transferida para sistemas de PCP para apoiar o planejamento e controle da produção. Já na fase de produção em larga escala os sistemas MES são mais exigidos. Na prática, os recursos não se apresentam de uma forma estável e problemas aparecem. Os sistemas MES armazenam históricos de produção que podem amenizar as soluções de tais problemas e, como consequência, a manufatura digital tira proveito desses dados.

Uma série de outros resultados é proveniente dos elementos pesquisados e pode-se tirar inúmeros outros benefícios. Por exemplo, as informações de controle extraídas do chão-de-fábrica através de apontamentos, controladores lógicos programáveis, códigos de barras, sistemas supervisórios, entre outros dispositivos, criam no repositório de dados dos sistemas MES um depósito de informações que, além de fornecer dados para sistemas de manufatura digital do PLM, conforme ilustrado na Figura 1.1, também - tradicionalmente - fornece dados para diversos sistemas, inclusive o próprio MES, que conseguem capturar e tratar esses dados para obter benefícios como: controle estatístico de processos (CEP), rastreabilidade, controle de paradas (*downtimes*), controle de perdas e ganhos, codificação para expedição e recebimento de mercadorias, gerenciamento e controle de manutenção preditiva e preventiva, indicadores OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), dados de indicadores de desempenho KPI's (*Key Performance Indicators*), BSC (*Balanced Scorecard*), entre outros.

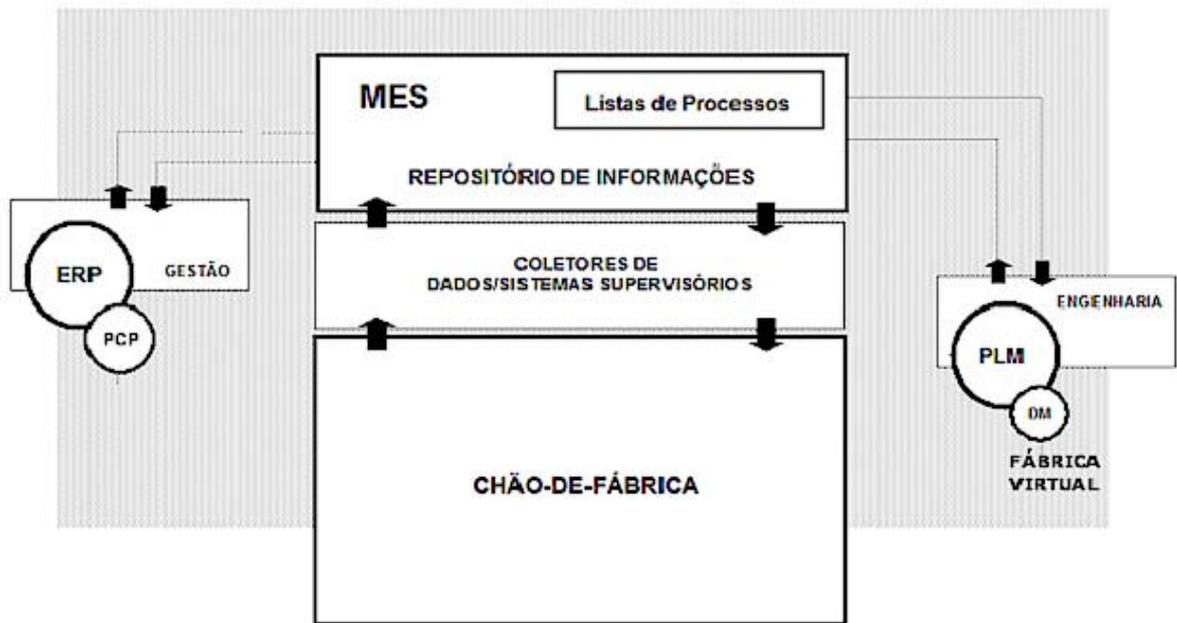


Figura 1.1 – Plataforma de Integração ERP, MES e PLM – (Elaborado pelo autor).

Para sustentar uma abordagem mais ampla da pesquisa, outras indagações se fazem pertinentes:

- Qual o papel dos sistemas MES e PLM no ambiente de integração de dados de chão-de-fábrica para o planejamento de processos de manufatura?
- Como os sistemas MES e as aplicações PLM convivem no cenário de colaboração de soluções de TI, qual a relação entre MES, ERP e PLM?
- Qual o estágio atual da manufatura digital do PLM e qual a visão dos principais “*players*” de mercado?
- Qual o cenário atual dos sistemas MES e do PLM no chão-de-fábrica?
- Como a pesquisa pretende converter a discussão em objetivos e apontar cenários de melhoria de desempenho para o planejamento dos processos de manufatura com a colaboração entre sistemas MES e PLM?

Como complemento do objetivo, a pesquisa se propõe a identificar as iniciativas e estratégias adotadas pelos “*players*” (atores) do mercado de MES e PLM que oferecem dispositivos e soluções que integram dados reais de chão-de-fábrica a ambientes

virtuais de simulação e, com pensamento científico, sinalizar as alternativas e melhores propostas que de fato agregam valor à melhoria de desempenho no planejamento de processos de manufatura. De antemão, dentro de um cenário mundial, pode-se configurar fornecedores de soluções MES, fornecedores de soluções de manufatura digital do PLM e outras empresas que apresentam soluções de integração das soluções MES e PLM. Incluiu-se aos objetivos da pesquisa retratar a colaboração entre os diversos cenários e respectivos “*players*”.

1.3 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

Por que a pesquisa é importante, para quê e para quem? Com o propósito de otimizar investimentos, melhorar a competitividade e garantir os esforços das equipes de trabalho das empresas, a pesquisa ressalta a importância da utilização do conhecimento de dados históricos do chão-de-fábrica e do uso do sincronismo das informações de produtos e de processos de produção na melhoria de desempenho do planejamento de processos de manufatura. A fidelidade das informações de manufatura se tornou fundamental no sentido de monitorar e medir o desempenho das operações e alinhar pessoas, processos e negócios. A pesquisa mostra que, com base no compartilhamento das informações do produto e dos processos de manufatura, novas ferramentas de planejamento e controle estão frequentemente sendo combinadas e, nesse cenário, a manufatura digital - um componente do PLM - está se tornando uma aliada dos sistemas MES.

Ainda, com base na pesquisa, decisores e planejadores de processos de manufatura poderão responder, com mais eficiência, perguntas como:

- Qual o tamanho da área de trabalho necessária para a fabricação de um produto ou uma determinada montagem?
- Quais são as melhores alternativas de arranjo físico para a fabricação de um determinado produto ou montagem e quais as seqüências de trabalho mais apropriadas?

- Qual a força de trabalho necessária para a produção? É melhor contratar pessoas ou usar processos automatizados?
- Quais os investimentos necessários? É melhor alterar o *layout*, ampliar a planta ou criar uma nova fábrica?
- Como melhorar os processos de decisão para melhoria de produtividade, menores custos de produção e melhores metas de qualidade?

A pesquisa pretende ainda deixar claro que a colaboração da informação é o principal instrumento de uma economia globalizada em rede, e que o uso adequado do conhecimento reduz investimentos, mão-de-obra, estoques e recursos de produção. A vantagem do compartilhamento das informações do produto, ao longo de seu ciclo de vida, proporciona “ciclos de produção”, “*time-to-market*” (período de tempo desde a concepção de um produto até sua disponibilidade de venda) e “*time-to-volume*” (período de tempo para conseguir volume de produção) reduzidos. Nesse sentido, a pesquisa destaca a “manufatura digital” como uma ferramenta chave da atual “manufatura colaborativa” e inclui a manufatura digital como uma das ferramentas de visibilidade dos processos de negócios nas operações de produção.

1.4 MÉTODOS DE PESQUISA

Foram selecionados, do ponto de vista de objetivos (GIL, 1991), os métodos de pesquisa exploratória e pesquisa descritiva - sem manipulação de dados (CERVO e BERVIAN, 1984) - em função da capacidade do pesquisador, segundo seu pensamento, de identificar de forma sistemática e lógica o conhecimento disponível sobre o tema, o que se conhece, o que ainda não se conhece e o que precisa ser revisto (GUERRINI *et al.*, 2009).

A colaboração entre sistemas MES e sistemas de manufatura digital, que faz parte da abordagem PLM, foi identificada como o problema da pesquisa. O objetivo principal é proporcionar o entendimento de como essa colaboração pode melhorar o desempenho no planejamento digital dos processos de manufatura. Conforme Peter Checkland (1981), que propõe a metodologia *soft* para a delimitação da pesquisa, foi construído um panorama, o

mais completo possível, não do problema, mas da situação na qual percebe-se estar o problema. Depois foram explorados alguns tópicos e elementos relevantes para entender o problema, assim como a identificação dos atores que fazem parte desse universo. A pesquisa fecha em analisar o mundo real e os pensamentos sistêmicos, que levou em consideração a apresentação dos sistemas, princípios de classificação e nomenclatura.

1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

A pesquisa - estruturada em cinco capítulos - reflete cenários atuais impostos pelos atuais sistemas de produção industrial e releva a informação como vantagem competitiva:

Capítulo 1 – Este capítulo destaca a importância da pesquisa, revela que os sistemas de produção estão dirigidos aos mercados e necessitam de adaptações contínuas em função das constantes mudanças de demanda. Descreve os resultados esperados e faz clara a necessidade econômica das fábricas modernas em adequar o desempenho dos processos de manufatura às solicitações de demanda, com o uso de mecanismos de colaboração de TI, que utilizam dados reais de chão-de-fábrica em ambientes virtuais de simulação, como apoio às tomadas de decisão. O capítulo 1 deixa evidente que o principal destaque desta pesquisa é explorar a colaboração de dados entre sistemas MES e ambientes de sistemas de manufatura digital do PLM, com o propósito de melhorar o desempenho do planejamento dos processos de manufatura, e aponta os vários benefícios obtidos.

Capítulo 2 – Este capítulo traz uma visão geral dos sistemas MES, sua padronização, assim como das várias entidades, instituições e empresas envolvidas com esse mercado. Conceitua a estrutura dos sistemas MES, traz a visão de integração “vertical” dos sistemas MES com os sistemas de gestão ERP e de engenharia PLM, e também, a visão “horizontal” dos sistemas MES no chão-de-fábrica. O capítulo ainda apresenta os principais “*players*” do mercado internacional e nacional de MES, destacando seus produtos e territórios de atuação.

De uma forma apropriada, este capítulo ainda conceitua os aspectos de tomadas de decisão em sistemas de produção, a importância da simulação e também apresenta

uma visão geral das aplicações da manufatura digital. Conceitua a abordagem PLM, destaca a integração do PLM com os sistemas ERP, respectivas funções e domínios de conhecimento. Também conceitua os sistemas MES e PLM no cenário da colaboração de soluções de TI, define o cPDm (*collaborative Product Definition management*) como a estrutura central de dados para o gerenciamento das definições de produto e planejamento digital de processos de produção, assim como apresenta os principais “*players*” do mercado mundial de PLM e manufatura digital. De uma forma elucidativa, traz os passos do PLM no chão de fábrica dentro de um cenário de evolução do mercado de automação.

Capítulo 3 – Este capítulo explora as duas principais marcas de manufatura digital existentes no mundo: a suíte Delmia da Dassault Systèmes e a suíte Tecnomatix da Siemens PLM Software. Traz uma visão geral de como ambas as empresas - Dassault Systèmes e Siemens PLM Software - conceituam a manufatura digital, simulação e PLM, dentro do cenário atual e futuro, para objetivos de melhoria de produtividade, menores custos de produção e metas de qualidade. Ainda, o capítulo aponta as soluções Delmia e Tecnomatix como um conjunto abrangente de ferramentas interdisciplinares que afetam diretamente os processos de negócios das empresas de manufatura, influenciando e propiciando, de uma forma direta, a engenharia colaborativa e os processos de tomadas de decisão.

Capítulo 4 – Este capítulo dá uma visão de mercado sobre diversas aplicações de MES e, de uma forma exploratória, qualifica os cenários e tipos de solução MES nas mais diversas condições para o efetivo planejamento e gerenciamento da produção. O capítulo qualifica dois cenários que, segundo o impacto e repercussão de mercado, merecem atenção: O primeiro é o panorama Siemens e UGS - atual Siemens PLM Software, onde se procura identificar o verdadeiro estágio de amadurecimento da integração das soluções MES Simatic IT da Siemens com as soluções de manufatura digital Tecnomatix da Siemens PLM Software (antiga UGS). O segundo cenário fica por conta do estudo da solução MES da Intercim - com a denominação de “Suite Pertinence powered by Velocity”, uma proposta apoiada no conceito MOM - *Manufacturing Operations Management*, que a Dassault Systèmes identificou como sendo uma aliada para sua suíte de manufatura digital DELMIA. Neste capítulo, a pesquisa ainda elege e detalha a solução “Suite Pertinence powered by Velocity” da Intercim por entender ser uma das soluções mais completas e atuais de MES e que, principalmente, se integra de uma forma colaborativa com a manufatura digital do PLM.

Capítulo 5 – Este capítulo se refere à conclusão da pesquisa que, dentro da proposta da dissertação, sintetiza a colaboração das soluções de TI no “estado da arte” que integra o conceito PLM e valoriza a utilização do MES no planejamento e controle dos processos de manufatura. Com o propósito de apropriar todos os conceitos abordados, o capítulo traz um “diagrama de colaboração” como resultado dos cenários estudados, principalmente para auxiliar melhores tomadas de decisão no âmbito do planejamento de processos de manufatura, projeto de chão-de-fábrica e gerência da produção. Este capítulo ainda conclui quanto os sistemas MES podem ter seu valor ampliado se integrados dentro das características de funcionalidades do conceito PLM e traz propostas futuras.

CAPÍTULO 2

VISÃO GERAL – SISTEMAS MES, SIMULAÇÃO E MANUFATURA DIGITAL, PLM E INTEGRAÇÃO PLM/ERP

2.1 VISÃO GERAL DOS SISTEMAS MES

Quando se fala em gerenciamento pró-ativo da produção, os sistemas de execução de manufatura, também denominados MES - *Manufacturing Execution Systems* - ganham destaque nas operações de produção e vêm ao encontro das solicitações de mercado para alcançar a excelência operacional. O MES atua como responsável pelo gerenciamento do processo de produção e possibilita uma visão da fábrica como um todo e em tempo real. Tem a capacidade de consolidar o planejamento da produção e mapear o controle em todas as etapas do chão-de-fábrica, envolvendo a automação, supervisão e administração da produção. Segundo Chase, Jacobs e Aquilano (2006), o MES pode ser definido como um sistema de informações que programa, despacha, rastreia, monitora e controla a produção no chão-de-fábrica.

Com comunicação bidirecional, os sistemas MES funcionam em tempo real, ou seja, são programas de computador que disponibilizam seus resultados no momento em que estes estão sendo gerados. Essa característica permite conectar esses resultados, na forma

de dados e indicadores, a outros sistemas de informação. Dessa forma, os sistemas MES, do ponto de vista das relações de negócios e por oferecer dados em tempo real, apóiam os propósitos estratégicos das organizações e possibilitam melhores tomadas de decisão em várias áreas da empresa.

Uma outra definição de MES, de acordo com a MESA - Manufacturing Execution System Association, citada na obra de Corrêa, Gianesi e Caon (2001), diz: MES é um sistema de chão-de-fábrica orientado para a melhoria de desempenho que complementa e aperfeiçoa os sistemas integrados de gestão - planejamento e controle - da produção, a exemplo do MRPII (*Manufacturing Resource Planning*) incorporado aos sistemas ERP. O MES é capaz de controlar o andamento de uma ordem de produção enquanto esta está em progresso e com restrições de capacidade de curtíssimo prazo. De uma forma mais prática, os autores ainda destacam que o MES cumpre dois papéis: o de controlar a produção e o de liberar as ordens de produção.

A Figura 2.1 ilustra, numa visão mais tradicional, a hierarquia de camadas adotada pela MESA onde, usualmente, os sistemas MES colaboram com os sistemas ERP, responsáveis pelo planejamento dos recursos da empresa, incluindo aspectos de planejamento de capacidade e recursos de produção, qualidade e manutenção, planejamento de materiais, cadeia de fornecimento, distribuição de produtos e logística.



Figura 2.1 – Hierarquia de camadas adotada pela MESA - MES, ERP e áreas funcionais – Fonte: MESA - Manufacturing Execution System Association (Adaptado).

2.1.1 Padronização dos Sistemas MES

Atualmente os sistemas MES alcançaram repercussão mundial e se formaram algumas instituições, que sustentam padronizações e normas, a exemplo da MESA - Manufacturing Execution System Association (mais recentemente denominada de MESA - Manufacturing Enterprise Solutions Association). No mercado mundial podem ser encontrados vários tipos de implementações de sistemas de execução de manufatura, porém a pesquisa constatou que dois tipos são os mais usuais: MES para a indústria de processos e MES para a indústria de manufatura discreta (KLETTI, 2007; SCHOLTEN, 2009). Na indústria de processos (controle contínuo), os sistemas MES incorporam as máquinas, equipamentos e sistemas de controle da planta industrial, onde a atividade de coleta de dados de produção é representada por um sistema PIMS (*Process Information Management System*). Já nas indústrias de manufatura discreta os sistemas MES funcionam como um sistema de informação *on-line* que provê uma realimentação (*feedback*) de dados de fábrica e um sistema de controle para a produção. Kletti, Jürgen (2007), entre as instituições mundiais, destaca quatro entidades que, segundo ele, merecem ser comentadas: a MESA - Manufacturing Execution Solutions Association (com esta denominação na época); o comitê ISA S-95 da associação ISA - Setting the Standards for Automation, que sustenta as normas ANSI/S-88 e ANSI/S-95; o grupo NAMUR (uma associação internacional de usuários de tecnologia de automação em indústrias de processos), representado por usuários particularmente envolvidos nas áreas química e farmacêutica; e a associação de engenheiros VDI (Verein Deutsche Ingenieure), com sede em Düsseldorf na Alemanha.

2.1.1.1 – MESA - Manufacturing Enterprise Solutions Association

A MESA - também denominada como MESA International - tem como missão facilitar a excelência nas operações de manufatura e capacitar os membros da comunidade na comunicação, contribuição, compreensão e troca de estratégias. Produz *white-papers*, *podcasts* (áudio via Internet), guias, pesquisas, *webcasts* (informações via Internet) - e outras formas de recursos que aceleram o aprendizado e a transferência de conhecimento, tudo com

o propósito de oferecer melhores práticas no desempenho e rentabilidade das operações. A MESA oferece uma grande variedade de programas e eventos no mundo todo, os quais focam em rentabilidade, valor de negócios, agilidade e satisfação do cliente. Ainda, tem a atenção para a resolução de problemas críticos que inclui as empresas de manufatura, fornecedores, clientes e parceiros. Os associados da MESA - empresas de manufatura e provedores de sistemas de informação - se beneficiam em um esforço comum na solução crítica de negócios e promovem o cenário atual da indústria quando o assunto é sistemas de informação integrados.

É uma associação de alcance mundial e sem fins lucrativos que engloba empresas de manufatura, fornecedores de tecnologia da informação em hardware e software, integradores de sistemas, provedores de serviços de consultoria, analistas, academias e estudantes. Em sua missão, a MESA deixa claro o interesse de combinar a melhoria de negócios em operações de produção com aplicações otimizadas, implementações de tecnologia de informação e melhores práticas de gerenciamento. Recentemente - nos últimos anos - percebeu-se que a MESA expandiu as áreas de interesse em uma abrangência mais completa de ambientes de manufatura que incluem a indústria discreta, a indústria *batch* (bateladas) e a indústria de processos. A associação - com intensivo uso da tecnologia da informação - tem seus esforços focados nos eventos em tempo real que ocorrem durante os processos de produção e como as informações podem ser usadas para uma maior abrangência das empresas nos objetivos da cadeia de valor tais como: *lean manufacturing*, colaboração na cadeia de suprimentos, conformidade regulatória, entre outros.

Kletti (2007) afirma que, das associações, a MESA provavelmente é a que tem mais experiência quando o assunto é MES. Diz ainda que a abordagem MESA é a mais pragmática e descreve vários grupos de funções - ditados pela MESA - necessários para um efetivo suporte no gerenciamento da produção:

- Planejamento detalhado (operação/programação detalhada) - Seqüenciamento e otimização de tempo das ordens, coordenadas com o desempenho das máquinas, que incluem capacidade finita e recursos diversos;

- Gerenciamento de recursos (alocação, registro e visualização de recursos e status) - Administração e monitoramento de máquinas, ferramentas e materiais relacionados;
- Gerenciamento de documentos (controle de documentos) - Gerenciamento e distribuição (divisão) do produto, processo, projeto ou informação da ordem, assim como instruções de trabalho que asseguram a qualidade;
- Gerenciamento de materiais (unidades de expedição) - Gerenciamento da entrada de materiais e produtos intermediários usados na produção, com o propósito de registrar os materiais de consumo;
- Análise de desempenho – Comparação e avaliação de medidas e valores atuais para instalações ou áreas, em oposição a propósitos operacionais, de clientes etc.;
- Gerenciamento de ordens (gerenciamento de mão de obra) - Controle e definição de operações e expedição para centros de trabalho e pessoas;
- Gerenciamento da manutenção e serviços - Planejamento e implementação de medidas adequadas com o objetivo de capacitar máquinas e instalações para um melhor desempenho;
- Gerenciamento de processos - Controle e gerenciamento do fluxo de trabalho nas instalações de produção em concordância com o planejado, e ainda o controle de cargas (lotes) e respectivas especificações;
- Gerenciamento de qualidade - Armazenamento, rastreamento e análise de produtos e processos, assim como comparação com valores ideais;
- Aquisição e coleta de dados - Visualização, armazenamento, coleta e organização de dados de processos, de materiais e matérias prima, de manuseio, de funções de máquina e seus controles;
- Rastreamento do produto e genealogia (origem, família ou grupo) - Documentação de todos os eventos ligados à criação de um produto, armazenando detalhes de entrada de materiais e condições de ambiente.

Todos esses grupos de funções e combinações lógicas, citados na obra “Manufacturing Execution System - MES” de Jürgen Kletti (2007), podem formar uma solução MES consistente.

Para se ter uma idéia, e também com o propósito de relatar a nomenclatura e termos do universo da gestão de operações em tempo real e automação industrial, assim como dar noção do tamanho das empresas, os principais patrocinadores da MESA, na categoria *Platinum* (estabelecida pela MESA), a nível mundial, são:

- A Invensys Systems - com 25.000 colaboradores em 60 países - destaca-se como líder de mercado em softwares de gerenciamento de operações em tempo real e inclui soluções de gestão de patrimônio, gerenciamento *batch*, soluções para dados históricos, integração com aplicações de gerenciamento de cadeia de suprimentos e ERP, EMI (*Enterprise Manufacturing Intelligence*), sistemas supervisórios HMI/SCADA (*Human-Machine Interface/Supervisory Control And Data Acquisition*), gerenciamento da produção, sistemas MES, gerenciamento de desempenho, soluções de mobilidade e gerenciamento da qualidade do produto. Wonderware é a marca da suíte de produtos da Divisão de Gerenciamento de Operações da Invensys. A empresa tem sede em Plano, no Texas - EUA e seus produtos e serviços são usadas em todo o mundo por mais de 40.000 clientes em mais de 200.000 plantas e instalações. Suas soluções fazem da Invensys líder em automação e tecnologia de informação, sistemas, soluções em software, serviços e consultoria para empresas globais de manufatura e indústrias de base e incluem controle e instrumentação, sistemas de controle distribuído e segurança crítica e, ainda, uma ampla variedade de softwares de gerenciamento em tempo real de operações e serviços profissionais. Seus produtos e soluções atendem organizações industriais importantes nos setores de refinarias de óleo, química, gás, LNG (*Liquefied Natural Gas*), energia, indústria farmacêutica, processos minerais, alimentação e empresas de bebida, empresas de mineração e metal, instalações de tratamento de água, indústrias de polpa e fábricas de papel.

- A Rockwell Automation, uma empresa presente em mais de 80 países que inclui, atualmente, uma rede com mais de 5.600 parceiros regionais e globais, especializados em distribuição, integração de sistemas e produtos focados em controle de automação industrial, e que atende a maioria dos ambientes de manufatura. Suas soluções - em máquinas, dispositivos e sistemas - são comercializadas para o cliente final ou, muitas vezes, na forma de OEM (*Original Equipment Manufacturer*). Prometem, no conceito “*faster time to market*” (rápida colocação no mercado), proporcionar velocidade, responsividade e flexibilidade para ambientes de manufatura automatizados. As soluções da Rockwell Automation gerenciam e otimizam os ativos das empresas através de diagnósticos, monitoramento, análise de falhas e gerenciamento de dados. Ainda, as soluções englobam gerenciamento de riscos através de análises de variabilidade, conformidade regulatória e soluções de segurança. A companhia se destaca por investir continuamente em pesquisas que proporcionam a inovação.
- A GE/Fanuc, uma *joint venture* entre a GE e a Fanuc, é outra organização que patrocina a MESA. Traz em seu portfólio soluções para sistemas de automação, softwares industriais, sistemas embarcados, e soluções em controladores numéricos computadorizados CNC (*Computer Numerical Controls*) para sistemas de controle de máquinas-ferramenta. Os sistemas de automação - que proporcionam qualidade, flexibilidade e produtividade para ambientes industriais - abrangem CLPs (Controladores Lógicos Programáveis), controladores de movimento, PACs (*Programmable Automation Controllers systems*), dispositivos I/O (*Input/Output*), interfaces de operações e soluções de processos. Já os softwares industriais destacam a GE/Fanuc como empresa líder em seu segmento e incluem soluções HMI/SCADA, gerenciamento de mudanças, fluxo de trabalho, MES, EMI - *Enterprise Manufacturing Intelligence*, qualidade, conformidade e SOA (*Service Oriented Architecture*). Os sistemas embarcados cobrem circuitos impressos robustos aplicados na indústria de defesa, aeroespacial e ambientes industriais agressivos. - Em 17 de agosto de 2009 foi anunciada a dissolução da *joint venture* GE Fanuc Automation

Corporation, acordo estabelecido em 1986. Essa dissolução tem por finalidade facilitar as empresas no aporte de seus investimentos e também para que cada empresa trabalhe nas áreas em que têm vocação. A Fanuc no desenvolvimento de tecnologia e busca de maior participação no mercado de controladores lógicos programáveis (CPs) e de comandos numéricos computadorizados (CNCs); e a GE em sistemas de automação industrial, soluções de software, sistemas integrados, controle de processos e infraestrutura de TI. A partir de então, a empresa terá a denominação social de GE Intelligent Platforms, que inclui soluções MES.

- A Siemens AG (Berlín e Munich) - com mais de 160 anos de existência - é uma empresa global com foco em engenharia elétrica e eletrônica, operações industriais, energia e setores da saúde. A empresa conta com 430.000 colaboradores - em operação contínua - que trabalham no desenvolvimento e manufatura de produtos, projeto e sistemas complexos de instalações e traz uma enorme gama de soluções para necessidades específicas. Como ilustração, no ano fiscal de 2008, a Siemens teve uma receita de €7.3 bilhões dentro de um espectro contínuo de suas operações na ordem de €1.859 bilhões. No Brasil, a Siemens atua há mais de cem anos e representa o maior conglomerado de engenharia elétrica e eletrônica do país. Com mais de 9.000 colaboradores no Brasil, suas atividades estão agrupadas em três setores estratégicos: indústria, energia e saúde. Atualmente, os equipamentos e sistemas da empresa são responsáveis por 50% da energia elétrica produzida no País. No Brasil, o Grupo Siemens conta com seis centros de pesquisa, desenvolvimento e engenharia, doze unidades fabris e doze escritórios regionais de vendas e serviços. A subsidiária Siemens IT Solutions and Services faz parte do grupo e atua nos três setores. A Siemens, no que diz respeito à MESA, patrocina a entidade com o destaque para o produto SIMATIC IT MES, que faz parte da suíte (linha de produtos) SIMATIC IT.
- A SAP AG é outra empresa que patrocina a MESA na categoria *Platinum*. Tem sua história traçada de, inicialmente, fornecedora de software a líder global de mercado em soluções de gestão empresarial com foco em

negócios colaborativos e multi-empresas. Ao longo de mais de 30 anos, a SAP evoluiu de uma pequena empresa regional a uma empresa de classe mundial com mais de 47.000 colaboradores no mundo todo. Em 1972, em Mannheim na Alemanha, Dietmar Hopp, Hans-Werner Hector, Hasso Plattner, Klaus Tschira e Claus Wellenreuther, ex-funcionários da IBM, fundaram uma empresa chamada Systems Applications and Products in Data Processing (Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados). A visão da empresa era desenvolver um software aplicativo padrão para processos de negócios em tempo real. Um ano mais tarde, o primeiro aplicativo de contabilidade financeira estava pronto formando a base para o contínuo desenvolvimento de outros componentes de software para aquilo que, mais tarde, veio a ser conhecido como sistema “R/1”. O “R” é a primeira letra de “*Real-time data processing*” (processamento de dados em tempo real). No final da década de setenta, o exaustivo exame do banco de dados IBM da SAP e do sistema de interface com o usuário levaram ao lançamento do SAP “R/2”. Nessa ocasião, já em 1980, a SAP se muda para o parque industrial de Walldorf, próximo de Heidelberg. Com sede própria, a SAP abriga cinquenta terminais e atende cinquenta entre as cem maiores empresas alemãs. Nesse momento, a SAP desenha o SAP R/2 para lidar com diferentes idiomas e moedas. Com essa funcionalidade e outras inovações no SAP R/2, a SAP cresce rapidamente e, no meio da década, a empresa inaugura na Áustria sua primeira força de vendas fora da Alemanha. A SAP expõe pela primeira vez na CeBIT (Feira Internacional de Tecnologia da Informação, Telecomunicações, Softwares e Serviços), que acontece em Hannover (Alemanha) e alcança a receita de DM 100 milhões, muito mais cedo do que se imaginava. Em agosto de 1988, a SAP GmbH se transforma em SAP AG e, a partir de 4 de novembro deste mesmo ano, negocia 1,2 milhões de ações nas bolsas de Frankfurt e Stuttgart. A Manager Magazine, renomada revista de negócios da Alemanha, escolhe a SAP como a empresa do ano - uma distinção que foi reconhecida mais duas vezes. Com a abertura de subsidiárias na Dinamarca, Suécia, Itália e Estados Unidos, a expansão internacional da SAP tomou um forte impulso. Nos anos 90 o SAP R/3 é apresentado ao

mercado e introduzido o conceito cliente-servidor, que se tornou padrão até os dias de hoje. O SAP R/3 ganha uma aparência mais uniforme em suas interfaces e o uso de bancos de dados relacionais passa a ser visto de uma forma mais consistente. Ainda, com aprovação geral, o “R/3” ganha a capacidade de ser executado em computadores de diferentes fornecedores. Assim, a SAP mergulha numa nova geração de software empresarial. Um crescente número de subsidiárias foi criado no mundo todo e, em 1995, foi inaugurada a subsidiária brasileira. Também nessa época, um novo centro de vendas e desenvolvimento foi oficialmente inaugurado em Walldorf. No vigésimo ano, os negócios da SAP fora da Alemanha, passam a representar, pela primeira vez, 50% do total de vendas. Em 3 de agosto de 1998, as letras S-A-P aparecem pela primeira vez no pregão da bolsa de valores de Nova York (*New York Stock Exchange* - NYSE), a maior do mundo. Perto do final da década, Hasso Plattner, co-fundador, co-presidente e CEO, anunciam a estratégia mySAP.com, exibindo uma nova estratégia para a empresa e para a linha de produtos da SAP. O mySAP.com une soluções de comércio eletrônico com aplicativos ERP já existentes, utilizando tecnologia Web. Com a Internet, o usuário passa a ser o foco da SAP e a empresa aposta na idéia de um portal corporativo - o SAP Workplace. Atualmente - com base na arquitetura orientada a serviços (SOA) e na plataforma de integração e de aplicativos - o SAP NetWeaver - a SAP é o terceiro maior fornecedor independente de software do mundo. Suas soluções - baseadas no conhecimento de processos de negócio - são segmentadas por indústrias e atendem o setor financeiro, público, manufatura e serviços.

Além da Invensys Systems, Rockwell Automation, GE/Fanuc, Siemens e SAP que patrocinam a MESA na categoria *Platinum*, outras empresas de renome mundial como a Microsoft, IBM, µMPDV, CORDYS, ATS, OSIsoft e Lighthouse Systems patrocinam a MESA na categoria *Gold*. Este cenário de empresas dá uma noção do quão importante, fértil, produtivo e crescente é o ambiente de manufatura, que considera equipamentos, processos e sistemas avançados de última geração e se utiliza da tecnologia de informação, da automação e de processos integrados para as operações de chão-de-fábrica, planejamento, controle e gerenciamento da produção. Atualmente os participantes da MESA estão divididos nas

seguintes categorias: patrocinadores, provedores de solução (*solutions providers*), empresas de manufatura e fabricantes, analistas, entidades educacionais e sem fins lucrativos.

Ainda, para intensificar a compreensão do cenário das empresas associadas à MESA, segue a lista de associados na categoria *Solution Provider*, até novembro de 2009: Activplant Corporation; AIM Systems, Inc.; Alta Via; Apriso Corporation; ATS International B.V.; Avid Solutions; bfa solutions ltd; BluESP (Pty) Ltd; Brock Solutions; Burning Sky Software; Camstar Systems, Inc.; Collaboration Synergies Inc.; CORDYS; DAI Ltd; Deacom, Inc.; Elan Software Systems; Emerson Process Management; eROI; eSolutions Group Limited / CRA; Freudenberg IT LP; GE Fanuc Intelligent Platforms; Geometric Limited; IBS America; ICT Automatisering; InQu Informatics GmbH; Intercim; Invensys Systems Chile Limitada; Ipesoft; Lighthouse Systems; Lógica; Meridium; MES África; Microsoft Corporation; Miracom Inc.; MPDV Mikrolab GmbH; NanJing BiLin Software CO.,LTD; Ordina Technical Automation; Osaka Systems Planning Inc.; OSIssoft, Inc.; PlantVision AB; Prediktor; PricewaterhouseCoopers Pvt Ltd; Rockwell Automation; SAGE Frontline; Samsung SDS MES; SAP AG Global Marketing, Inc.; Schneider Electric; Siemens Ltd; STICORP; Tata Consultancy Services Ltd.; Tempo Resources; UNIS,a.s.; VENT Ltd.; Werum Software & Systems; WERUSYS GmbH & Co. KG; Wipro Technologies; Invensys / Wonderware; e Yokogawa Electric Corporation. Todos os outros participantes e a lista atualizada dos “*solutions providers*” podem ser encontrados no *website* da MESA em <http://www.mesa.org>.

2.1.1.2 – ISA - Setting the Standards for Automation

A ISA, fundada em 28 de abril de 1945 - Pittsburgh, EUA – recebeu inicialmente a denominação de "Instrumentation Society of America". Nessa época, a instrumentação industrial recebia um grande impulso em razão das aplicações desenvolvidas durante a 2ª Guerra Mundial. Richard Rimbach é reconhecido como o fundador da ISA, pela iniciativa de reunir 18 sociedades regionais existentes em uma organização nacional - (www.isa.org). Em 1946, Albert F. Sperry, Presidente da Panelit Corporation, tornou-se o primeiro presidente da ISA. Nesse mesmo ano, a sociedade realizou seu primeiro congresso e

exposição em Pittsburgh. Em 1949, surgiu então a primeira norma, denominada RP 5.1, que tratava da simbologia para fluxograma de instrumentação. Em 1954 foi editada a primeira publicação, que por fim se tornou o que é hoje a revista InTech, de abrangência mundial.

A entidade se tornou conhecida mundialmente e o número de associados cresceu de 900, no ano de 1946, para 39.000 distribuídos em mais de 110 países. Atualmente a ISA tem sede em Carolina do Norte - EUA e está, no mundo, organizada em 14 Distritos. Com o processo de internacionalização, além da evolução e da abrangência do desenvolvimento de suas atividades, o nome da ISA foi alterado para "The Instrumentation Systems and Automation Society" e, a partir de 2005, a identificação corporativa passou a ser "ISA - Setting the Standards for Automation".

Como uma sociedade global de instrumentação, sistemas e automação - sem fins lucrativos - que auxilia milhares de membros e profissionais de automação, a ISA tem sua missão classificada da seguinte forma:

- Maximizar a efetividade de seus associados, praticantes e organizações mundiais a avançar e aplicar a ciência, tecnologia e artes relacionadas à instrumentação, sistemas e automatização em todas as indústrias e aplicações;
- Identificar e promover tecnologias e aplicações emergentes;
- Desenvolver e disponibilizar ampla variedade de serviços e produtos de informação com alto valor agregado à comunidade global.

O Brasil faz parte da ISA Distrito 4, composto pelos países da América do Sul. O Distrito 4 tem sede na cidade de São Paulo e está organizado em vinte seções profissionais e vinte seções de estudantes, que agregam aproximadamente dois mil associados - (Figura 2.2).



Figura 2.2 – ISA DISTRITO 4 - Associação Sul-Americana de Automação - Fonte: Website ISA - (www.isa.org).

Entre as seções estão: (01) Assunção; (02) Bahia; (03) Belo Horizonte; (04) Buenos Aires; (05) Campinas; (06) Chile; (07) Colômbia; (08) Curitiba; (09) Espírito Santo; (10) Lima; (11) Rio de Janeiro; (12) Rio Grande do Sul; (13) São Paulo; (16) Cauca; (18) CEFET-SP Cubatão; (20) Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI; (21) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; (24) Santos; (26) SENAI – Professor Zerbini; (27) Instituto TECSUP; (30) Universidad de Los Andes; (32) Universidade de Uberaba; (34) San Fernando - Trinidad; (35) Triângulo Mineiro; (36) Vale do Paraíba; (38) Venezuela Metropolitan; (39) Venezuela Occidental Region; (41) Campos dos Goytacazes; (42) Universidad de La Salle; (47) Universidad Pedagogica Nacional; (51) Universidad Ricardo Palma - URPAL; (52) Ecuador; (53) Universidad de Santiago de Chile; (54) Sena Colombo Aleman - Regional; (55) ISA Universidad del Norte; (57) Universidad Technologica de Bolívar; (58) Escuela Politecnica Nacional Ecuad; e (72) Universidad Del Valle.

As atividades da ISA estão focadas fundamentalmente em Tecnologia de Automação (TA) e Tecnologia da Informação (TI) e abrange diversos temas, a saber: Foundation Fieldbus³; Certificações Profibus⁴ (um tipo popular de sistema de comunicação em rede padrão Fieldbus); e redes industriais Ethernet (uma tecnologia de interconexão para redes locais); coletores de dados (geralmente um dispositivo para coleta de informações); comunicação *wireless* (sem fio); controladores industriais (de manufatura, de movimento, de qualidade, de estatística de processos); detecção e diagnóstico de falhas técnicas preditivas (manutenção de sistemas, equipamentos e gestão de ativos); instrumentação (analítica),

³ *Foundation Fieldbus* é um sistema de comunicação totalmente digital, em série e bidirecional que conecta equipamentos “*Fieldbus*” tais como sensores, atuadores e controladores. O *Fieldbus* é uma rede local (LAN) para automação e instrumentação de controle de processos e manufatura, com capacidade de distribuir o controle na planta através da rede. Ao contrário dos protocolos de rede proprietários, o *Fieldbus* não pertence a nenhuma empresa, ou é regulado por um único organismo ou nação. A tecnologia é controlada pela Fieldbus Foundation, uma organização não lucrativa que consiste em mais de 100 dos principais fornecedores e usuários de controle e instrumentação do mundo.

A Fieldbus Foundation é formada por empresas de automação de controle de processos e manufatura para desenvolver um *fieldbus* simples, aberto, internacional e interoperável. O *Foundation Fieldbus* é baseado nas normas IEC e ISA, e mantém muitas das características operacionais do sistema analógico 4-20 mA, tais como uma interface física padronizada da fiação, os dispositivos alimentados por um único par de fios e as opções de segurança intrínseca, mesmo assim oferece uma série de benefícios adicionais. Fonte: “Guia para avaliação de um Sistema Foundation Fieldbus” da Smar Equipamentos Industriais e *website* <http://www.smar.com.br>.

⁴ O *PROFIBUS* é um padrão de rede de campo aberto e independente de fornecedores, onde a interface entre eles permite uma ampla aplicação em processos, manufatura e automação predial. Esse padrão é garantido segundo as normas EN 50170 e EN 50254. Desde janeiro de 2000, o *PROFIBUS* foi firmemente estabelecido com a IEC 61158, ao lado de mais sete outros *fieldbuses*. A IEC 61158 está dividida em sete partes, nomeadas 61158-1 a 61158-6, nas quais estão as especificações segundo o modelo OSI (*Open Systems Interconnection*). Nessa versão houve a expansão que incluiu o DP-V2 (*PROFIBUS DP* é a solução de alta velocidade - *high-speed* - do *PROFIBUS*). Mundialmente, os usuários podem agora se referenciar a um padrão internacional de protocolo, cujo desenvolvimento procurou e procura a redução de custos, flexibilidade, confiança, orientação ao futuro, atendimento as mais diversas aplicações, interoperabilidade e múltiplos fornecedores.

Hoje, estima-se em mais de 20 milhões de nós instalados com tecnologia PROFIBUS e mais de 1000 plantas com tecnologia PROFIBUS PA. Existem 24 organizações regionais RPAs (*Regional PROFIBUS & PROFINET Association*) e 33 Centros de Competência em PROFIBUS (PCCs), localizados estrategicamente em diversos países, de modo a oferecer suporte aos seus usuários, inclusive no Brasil, junto a Escola de Engenharia de São Carlos/USP, existe o único PCC da América Latina. Fonte: <http://www.smar.com.br>.

O Centro de Competência em Profibus, instalado no Brasil no final de 2007 no Laboratório de Automação Industrial – EESC/USP - São Carlos - SP, é representado pelos especialistas César Cassiolato, Presidente da Associação Profibus América Latina e Diretor da Smar e pelo Prof. Dr. Dennis Brandão da EESC-USP. Durante os dias 05 e 06 de fevereiro de 2009, um dos maiores especialistas em nível mundial da tecnologia *Profibus*, Andy Verwer, auditou os especialistas brasileiros com a aprovação para que o Centro de Competência da EESC possa oficialmente atuar como CPP - Centro de Competência Profibus - e também como CTP - Centro de Treinamento Profibus. Estes são os primeiros Centros da Tecnologia Profibus da América Latina. Fonte: <http://www.profibus.org.br/news/marco2009/news.php?dentro=8>.

inteligência artificial; sistemas especialistas de processos; HMI - Interface Homem/Máquina; MES - *Manufacturing Execution Systems*; PIMS - *Plant Information Management System*; LIMS (*Laboratory Information Management System*), metrologia industrial, monitoração e automação de sistemas elétricos; CLPs - Controladores Lógicos Programáveis; RFID (*Radio Frequency Identification*); Robótica; supervisórios SCADA; SDCDs - Sistemas Digitais de Controle Distribuído; sistemas logísticos, sistemas de desempenho, sistemas de segurança, sistemas ERP, sistemas flexíveis de manufatura, entre outros.

Ainda, a ISA se empenha em aplicar e garantir padrões, baseados em legislações e normas internacionais, a exemplo da Norma ANSI/ISA-S88 (IEC 61512), para automação e controle de processos de batelada, que oferece estruturas definidas e tem o objetivo de definir modelos e terminologia. É um padrão para seqüenciamento de processos, facilmente usado em sistemas contínuo ou discreto de bateladas - (www.batch.com.br). A norma está disponibilizada em partes: ANSI/ISA-88.01-1995 Batch Control Part 1: *Models and Terminology*; ANSI/ISA-88.00.02-2001 Batch Control Part 2: *Data Structures and Guidelines for Languages*; ANSI/ISA-88.00.03-2003 Batch Control Part 3: *General and Site Recipe Models and Representation*; e ANSI/ISA-88.00.04-2006 Batch Control Part 4: *Batch Production Records*.

A S88.01 divide a automação de bateladas em modelos físicos e modelos de procedimentos, que resultam no modelo do processo. O modelo físico (*Physical Model*) define os equipamentos utilizados no processo *batch* e o modelo de procedimentos (*Procedural Model*) é a parcela que define as condições, ordem, seqüência de execução e controle dos equipamentos utilizados no processo *batch*. A S88.02 define os modelos de dados como um conjunto de objetos, atributos e seus relacionamentos, e ainda possibilita o desenvolvimento de interfaces de componentes de software baseado em UML (*Unified Modeling Language*), um método de modelagem de análise orientada a objeto. Ainda, na S88.02, são descritas tabelas relacionais utilizadas para troca de informações entre diferentes sistemas, além de suportar regras e símbolos para aplicação de uma linguagem gráfica para descrever receitas (proporções de componentes e métodos nos processos de batelada). A S88.03 define informações adicionais para as receitas denominadas “*General*” e “*Site*”, definidas na S88.01 e menciona as atividades que descrevem o uso e o modelo de dados dessas receitas dentro e fora do âmbito da empresa - (www.batch.com.br). A S88.04 define um modelo de referência para registro de dados (*record*) de produção *batch* que contém

informações da produção de lotes ou elementos do processo *batch* - (<http://www.isa.org/Template.cfm?Section=Standards2&template=/Ecommerce/ProductDisplay.cfm&ProductID=8860>).

Outra norma bastante considerada, não menos importante na conceituação da ISA, é a norma ANSI/ISA-S95. Em 2006 a revista InTech, que faz parte do portfólio de publicações da ISA, publicou no Brasil, uma série de artigos de atualização sobre as principais normas da ISA, principalmente as mais recentes e merecedoras de maior divulgação perante o público. Ficou evidente que a norma ANSI/ISA-S95 foi a mais citada por todas as pessoas e empresas que se empenham na comunicação entre aplicações MES de chão-de-fábrica e sistemas de gestão ERP. Constantino Seixas Filho, membro do conselho editorial da revista InTech, na época, diretor da ATAN e professor assistente do Departamento de Engenharia Eletrônica da Universidade Federal de Minas Gerais, publicou um artigo intitulado “Atualização - ISA S-95 - Framework para uma Manufatura Flexível”. Neste artigo, Seixas Filho (2006) trouxe uma visão geral da norma e comentou na introdução de seu texto que, embora a primeira parte da norma tenha sido publicada em 2000, só em 2006 a S-95 passou no teste de aceitabilidade de mercado. Isso aconteceu devido ao fato de que, em março de 2004, durante o SAP Sapphire, evento realizado em New Orleans, a SAP anunciou que estaria estabelecendo um conjunto de padrões de interoperabilidade para conectar sistemas industriais com sistemas de negócios, iniciando essa série de ações com as indústrias de processo e continuando com as indústrias de manufatura discreta. Naquele momento, foi criado um grupo de interoperabilidade denominado P2B (Plant to Business), composto pelos membros do ARC (Automation Research Corporation) Advisory Group, uma entidade fundada em 1986 com foco em energia, manufatura e *supply chain* (cadeia de suprimentos), pelos membros da SAP, e por fornecedores de soluções e usuários desse mercado que, entre as diretrizes elaboradas pelo grupo P2B, estavam:

- Através de um consenso, adotar a norma ANSI/ISA-S95 como padrão;
- Considerar os esquemas gerados pelo WBF-B2MML (*World Batch Forum - Business to Manufacturing Markup Language*) - que consistem de implementações em XML (*eXtensible Markup Language*) - os quais, segundo a norma S-95, formam o padrão de comunicação (transmissão de dados) adotado. O XML é uma linguagem de marcação padronizada, capaz

de descrever diversos tipos de dados e que, em seu propósito principal, está a facilidade de compartilhamento de informações através da Internet.

Na época, segundo Seixas Filho (2006), todos os esforços da integração de sistemas MES com sistemas de gestão ERP foram focados no padrão oferecido pela norma ANSI/ISA-S95, e a grande motivação para o desenvolvimento desta norma foi a busca de uma manufatura mais flexível e que acomodasse as variações das formas de se produzir, mantendo a camada de negócios e logística estável, em relação aos dados de chão-de-fábrica.

A norma ANSI/ISA-S95 é composta de seis partes, das quais foram publicadas quatro partes conforme segue (www.isa.org):

- ANSI/ISA-95.00.01-2000 – Integração Empresa - Sistemas de Controle Parte 1: Modelos e Terminologia (arquivo disponível para *download*);
- ANSI/ISA-95.00.02-2001 - Integração Empresa - Sistemas de Controle Parte 2: Atributos do Modelo de Objetos (arquivo disponível para *download*)
- ANSI/ISA-95.00.03-2005 - Integração Empresa - Sistemas de Controle Parte 3: Modelos de Gerenciamento de Operações de Manufatura (arquivo disponível para *download*);
- ANSI/ISA-95.00.05-2007 - Integração Empresa - Sistemas de Controle Parte 5: Transações *Business-to-Manufacturing* - B2M (disponível em CD).

As outras duas partes, ainda não publicadas, são:

- ANSI/ISA-95.00.04 – Parte 4 - Modelos de Objetos e Atributos de Gerenciamento de Operações de Manufatura;
- ANSI/ISA-95.00.06 – Parte 6 - Transações de Gerenciamento de Operações de Manufatura.

Seixas Filho (2006) afirma, e é visível no *website* da ISA (www.isa.org), que as Partes 1 e 2 focam na interface entre o ERP e a manufatura, as Partes 3 e 4 abordam o

sistema MES, a Parte 5 volta a detalhar a interface do ERP com a manufatura, e a Parte 6 as mensagens internas em relação ao sistema MES.

Como padrão, a Parte 1 da norma ANSI/ISA-S95 define modelos e terminologia a serem utilizados nos outros módulos, as funcionalidades de cada nível do sistema industrial e todos os fluxos entre a camada de negócios e a manufatura. Ainda, segundo o artigo de Constantino Seixas Filho (2006), publicado na edição 79 da revista InTech, a importância da norma ANSI/ISA-S95 é criar uma linguagem comum e constatar que o nível de manufatura não trata apenas de produção, e sim de quatro focos: produção, manutenção, qualidade e inventário. Para cada um desses focos existe a troca de quatro categorias de informações. No artigo, Seixas Filho (2006) toma como exemplo as informações de produção.

As informações de capacidade de produção - índices e taxas que medem a capacidade de um dado processo fabricar produtos dentro de faixas de especificações - Amaral, D. C. e Rozenfeld, H. (1999) - são geradas pela área de manufatura e fornece não apenas a capacidade de processamento dos equipamentos, mas também a disponibilidade de material e de mão-de-obra. De posse desses dados é realizado o planejamento da produção, a exemplo do uso de um software APS (*Advanced Planning and Scheduling*). O sistema MES recebe a programação da produção para um certo período de tempo (planejamento de curtíssimo prazo), que caracteriza as listas de ordens de produção e as definições (especificações) dos produtos a serem produzidos - receitas que incluem, via de regra, as listas de processos. Dependendo do processo, a definição de produtos (receita) é gerada no MES, a produção é então executada e o sistema MES informa ao sistema ERP o desempenho de produção. Esta ação é denominada de “resposta de produção”. A Figura 2.3 ilustra os fluxos das informações da manufatura.

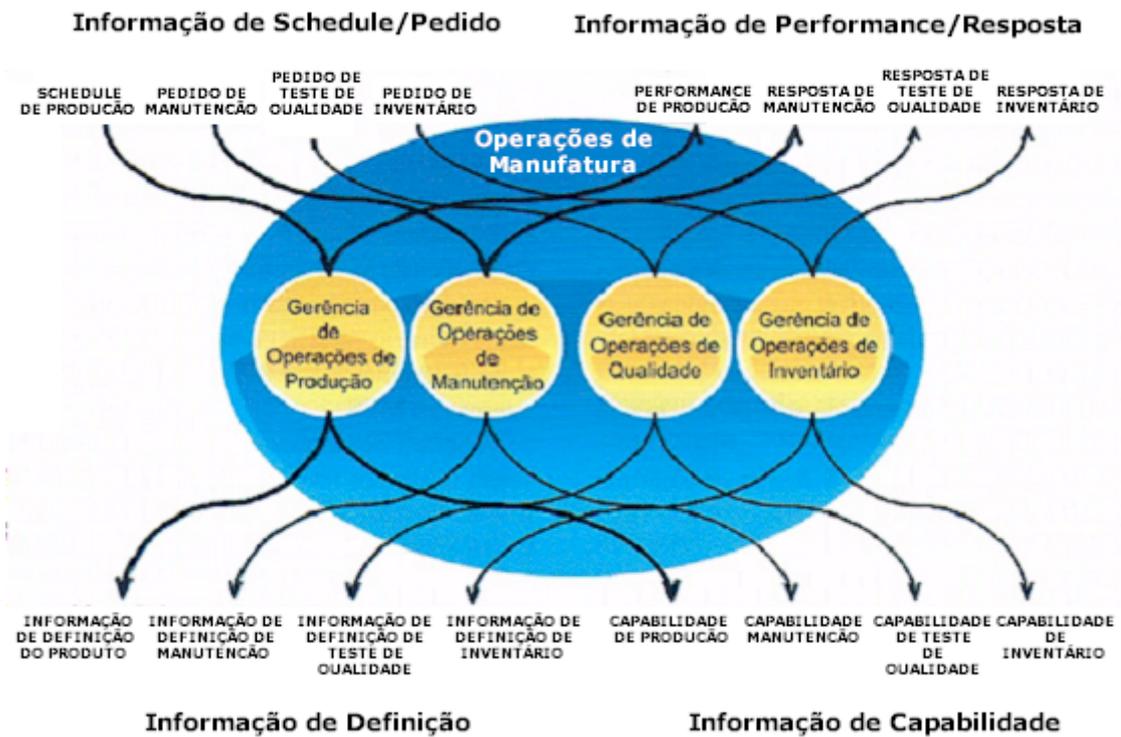


Figura 2.3 – Fluxo de Informações de Manufatura – Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006).

Seixas Filho (2006) ainda descreve sobre a Parte 2 da norma ANSI/ISA-S95. Afirma que esta parte da norma se dedica a detalhar os atributos do modelo de objetos definidos na Parte 1 e se concentra, portanto, na interface entre o nível de negócios - denominado pela ISA de nível 4 - e o nível de manufatura - denominado pela ISA de nível 3. Os níveis 1 e 2 (também denominados pela ISA) referem-se, respectivamente, ao nível de automação de chão-de-fábrica e ao nível supervisor. Os modelos detalhados na Parte 2 da norma ANSI/ISA-S95 são:

- Modelo de capacidade de produção;
- Modelo de capacidade de segmento de processo (seqüência);
- Modelo de pessoal (recursos de mão-de-obra);
- Modelo de equipamentos;
- Modelo de materiais;
- Modelo de segmento de processos;

- Modelo de informação de definição de produto (pode englobar o PLM);
- Modelo de planejamento de produção;
- Modelo de performance (desempenho) de produção.

No artigo, Seixas Filho (2006) examina um dos modelos mais simples, o de equipamentos, e comenta: “a Parte 1 fornece o modelo de objetos, porém não detalha seus atributos, os quais são interpretados na Parte 2”. A Figura 2.4, extraída da Parte 1 da norma, mostra o modelo de equipamentos e, as Tabelas 2.1 e 2.2, mostram - como exemplo - uma lista parcial dos atributos de dois objetos deste modelo.

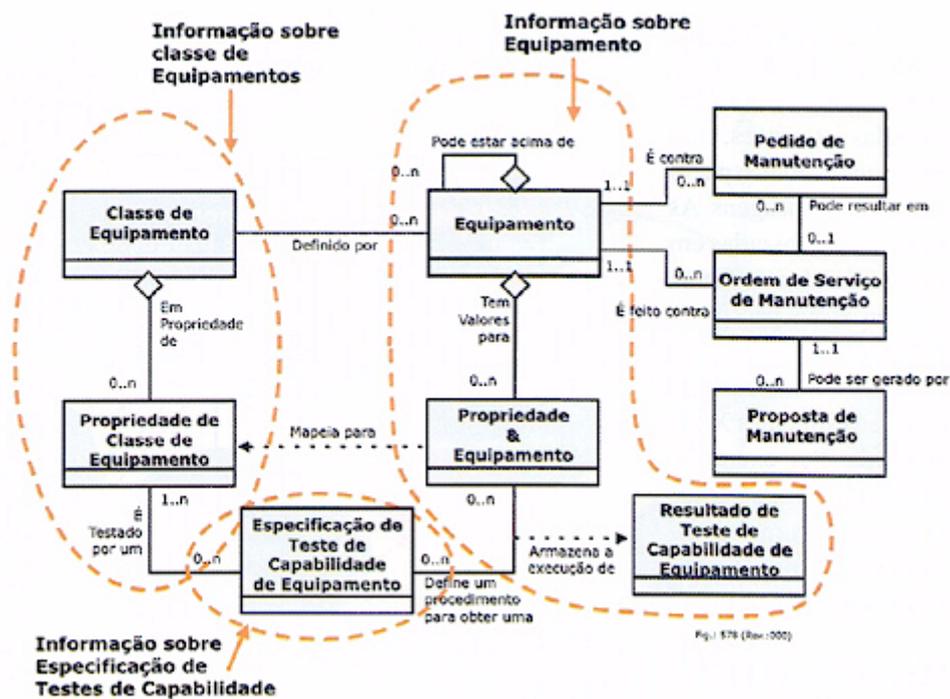


Figura 2.4 - Definição do Modelo de Objetos: Modelo de Equipamento (Parte 1 da Norma ANSI/ISA-S95) -

Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006).

Tabela 2.1- Atributos de Objetos de Equipamento

(Parte 2 da Norma ANSI/ISA-S95)

Nome do Atributo	Descrição	Exemplo
ID	Uma identificação única de um equipamento específico dentro do escopo da informação trocada (capabilidade de produção, planejamento de produção, performance de produção, ...). O ID do equipamento deve ser usado em outras partes do modelo quando o equipamento precisa ser identificado tal como a <i>capabilidade de produção</i> para um dado equipamento, ou uma <i>resposta de produção</i> identificando o equipamento usado.	Suporte para fresa 347
Descrição	Informações adicional sobre o equipamento.	“Este é o suporte modelo X para fresa do tipo Y.”

Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006).

Tabela 2.2 - Atributos de Objetos de Propriedade de Equipamento

(Parte 2 da Norma ANSI/ISA-S95)

Nome do Atributo	Descrição	Exemplos
ID	Uma identificação da propriedade específica	Nome do Equipamento Taxa de alimentação Tamanho do gabarito
Descrição	Informação Adicional sobre a propriedade do equipamento	“Nome local para o dispositivo” “Dispositivo fazendo taxa de alimentação média” “Tamanho do gabarito do dispositivo suporte”
Valor	Os valores, conjunto de valores ou faixa de valores da propriedade. Assume-se que os valores estarão dentro das faixas ou conjunto de valores para a propriedade de equipamento correspondente.	Big Bertha 59 300
Unidade de Medida do Valor		(não se aplica) Peças/hora Cm

Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006).

Ainda, segundo Seixas Filho (2006), a Parte 2 da norma oferece um grande auxílio para a organização de bancos de dados relacionais (um conceito que define maneiras de armazenar, manipular e recuperar dados estruturados na forma de tabelas) em relação ao sistema MES e representa um avanço em direção a uma implementação das interfaces entre o chão-de-fábrica e sistemas de gestão. Porém a Parte 2, ainda segundo Seixas Filho (2006), não explica como construir tais bancos de dados relacionais, nem sob o aspecto tecnológico, nem sob o aspecto de formato de mensagens. Seixas Filho (2006) afirma que as mensagens tanto poderiam ser organizadas em estruturas binárias como codificadas na forma de documentos

XML - *eXtensible Markup Language*. No artigo, Seixas Filho (2006) deixa claro um outro acontecimento que houve em direção a uma padronização das mensagens, que foi a iniciativa do WBF (*World Batch Fórum*), um comitê focado na tecnologia de produção, processos de automação e operações de manufatura, e que tem patrocinadores como a ABB, ARC Advisory Group, Dow, Emerson Process Management, Honeywell, Invensys, McEnergy Automation, NNE Pharmaplan, NovaTech, OSisoft, Rockwell Automation, Werum Software & Systems e Yokogawa. Baseada na Parte 2 da norma ANSI/ISA-95.00.02, criada em 2001, o WBF desenvolveu esquemas XML para cada mensagem definida no sistema MES. Por exemplo, para o modelo de equipamentos existe o esquema B2MML-Equipment. A Figura 2.5 mostra parte do esquema definido no documento B2MML-V03000-Equipment.xsd. O formato “.xsd” representa uma definição do esquema XML (XSD - *XML Schema Definition*) e é recomendado, desde 1999, pelo consórcio W3C, responsável por vários padrões da Web. É graças ao formato “.xsd” que os resultados obtidos em vários sistemas MES podem ser apresentados em vários portais, como o Sharepoint da Microsoft, o MMI da SAP, ou portais proprietários.

```

<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 = "ExtendedEquipmentProperty"
      minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xsd:element name = "Any" type="AnyType"
      minOccurs = "0" maxOccurs = "unbounded"/>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>

```

Figura 2.5 – Esquema .xsd para a Propriedade de Equipamento B2MML -

Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006).

No artigo, Seixas Filho (2006) também comenta a Parte 3 da norma ANSI/ISA-S95 e diz que, esse novo padrão lançado em junho de 2005 apresenta modelos e terminologia para as atividades de gerenciamento de operações de manufatura, ou seja, para o sistema MES. Esta parte da norma detalha as atividades de gerenciamento de operações e abrange tanto os ativos de produção como de manutenção, qualidade e inventário (gerenciamento de estoques). Conforme a Figura 2.6, para cada grupo de atividades (produção manutenção, qualidade e inventário) é definido um modelo.

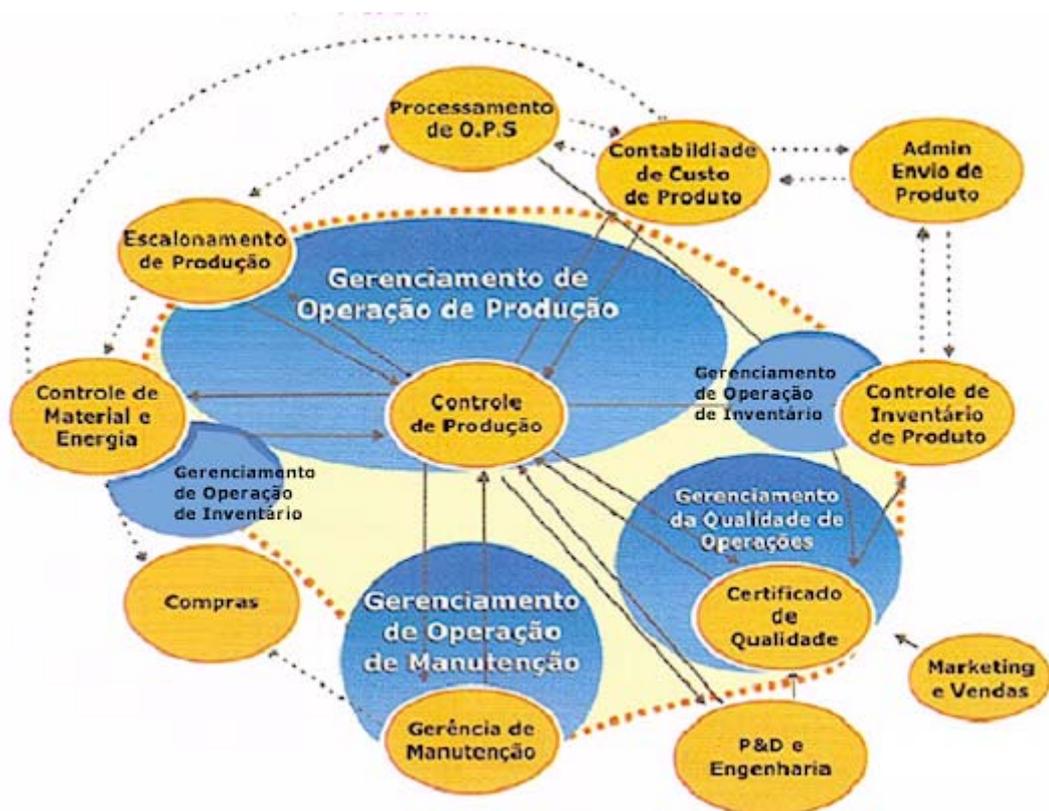


Figura 2.6 - Modelo de Gerenciamento de Operações de Manufatura (Segundo a Parte 3 da Norma ANSI/ISA-S95) - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006).

Constantino Seixas Filho (2006) dá, no artigo da revista InTech, um exemplo do grupo de atividades “controle da produção” conforme representado na Figura 2.7. Cada funcionalidade do esquema pertence ao nível 3 - nível de manufatura - e, às vezes, representa um produto à parte. Por exemplo, a atividade “coleta de dados da produção” numa indústria de processos contínuo é representada por um sistema PIMS - *Process Information Management System*. Já num processo de manufatura discreta, esta mesma atividade pode ser representada por um simples aplicativo SQL (*Structured Query Language*), que armazena dados em um banco de dados relacional.

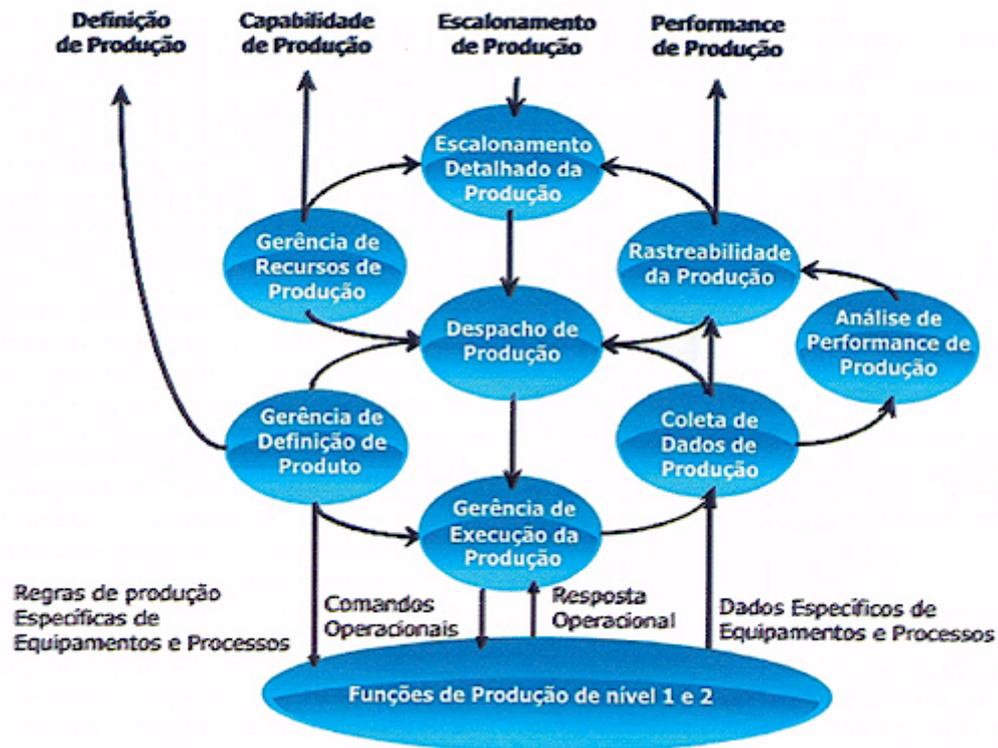


Figura 2.7 – Modelo de Atividades de Gerenciamento de Operações de Produção (Segundo a Parte 3 da Norma ANSI/ISA-S95) - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006).

O artigo ainda mostra que a separação funcional das atividades entre os sistemas MES e sistemas ERP é, ao contrário de uma interpretação mais simples, uma necessidade. Fica claro que existe uma fronteira natural de responsabilidade entre as funções de uma fábrica e esta fronteira flutua de acordo com o tipo de processo. A Parte 3 da norma ANSI/ISA-95 releva as atividades críticas, e que fazem parte dos processos, a saber:

- Qualidade do produto;
- Conformidades regulatórias - FDA (Food and Drug Administration), EPA (Environmental Protection Agency), USDA (United States Department of Agriculture), OSHA (Occupational Safety and Health Administration) etc.;
- Segurança da planta;
- Confiabilidade da planta;
- Eficiência da planta.

Na prática, quando os processos variam de contínuos para discretos e os tipos de ordens de produção de MTS (*Make to Stock*) para MTO (*Make to Order*) ou ETO (*Engineer to Order*), a complexidade de definição das fronteiras de funcionalidades entre o nível 3 (de manufatura) e do nível 4 (de gestão) aumenta. Neste caso, diz-se que a fronteira entre a camada de negócios e a camada de manufatura oscila – Figura 2.8.

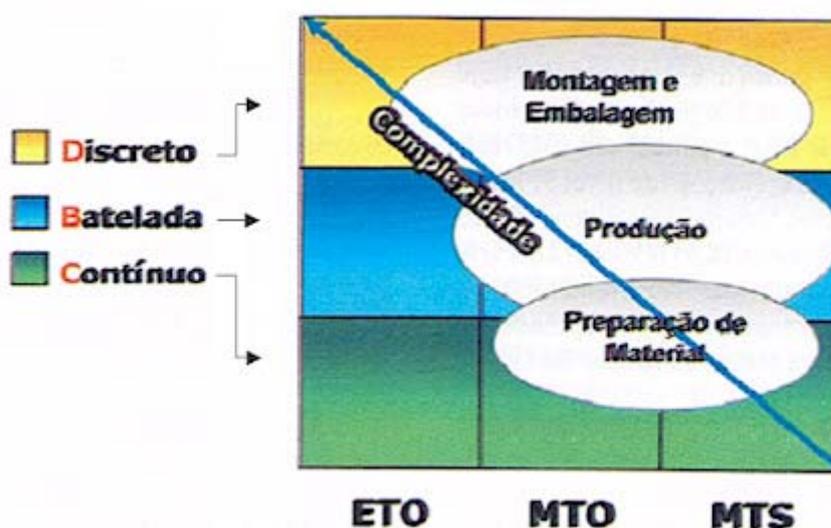


Figura 2.8 – Mudança nas características do processo influencia as regras de negócio (Gifford) -

Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006) – (Adaptado).

A Figura 2.9 traz um cenário das fronteiras de responsabilidade entre os sistemas de gestão ERP e os sistemas de execução de manufatura MES. Seixas Filho (2006) também destaca que, o que está abaixo das linhas de responsabilidade são funções de manufatura a serem desempenhadas por um sistema de gerenciamento da produção como o MES. O que está acima da linha de responsabilidade pode ser desempenhado por um outro sistema mais relacionado com a camada de negócios da empresa. Ainda, por exemplo, se apenas as atividades de “gerenciamento da execução” forem classificadas como críticas por um dos critérios citados, a linha tracejada inferior identificada como C/MTS (Processo Contínuo / *Make to Stock*) é adotada como sendo a fronteira de responsabilidade. Atividades como coleta de dados, neste caso, podem ser realizadas por coletores de dados independentes ligados ao sistema ERP. Fica visível que a linha de fronteira varia de aplicação para aplicação, tanto para as operações de produção, quanto para as operações de manutenção, qualidade e inventário.

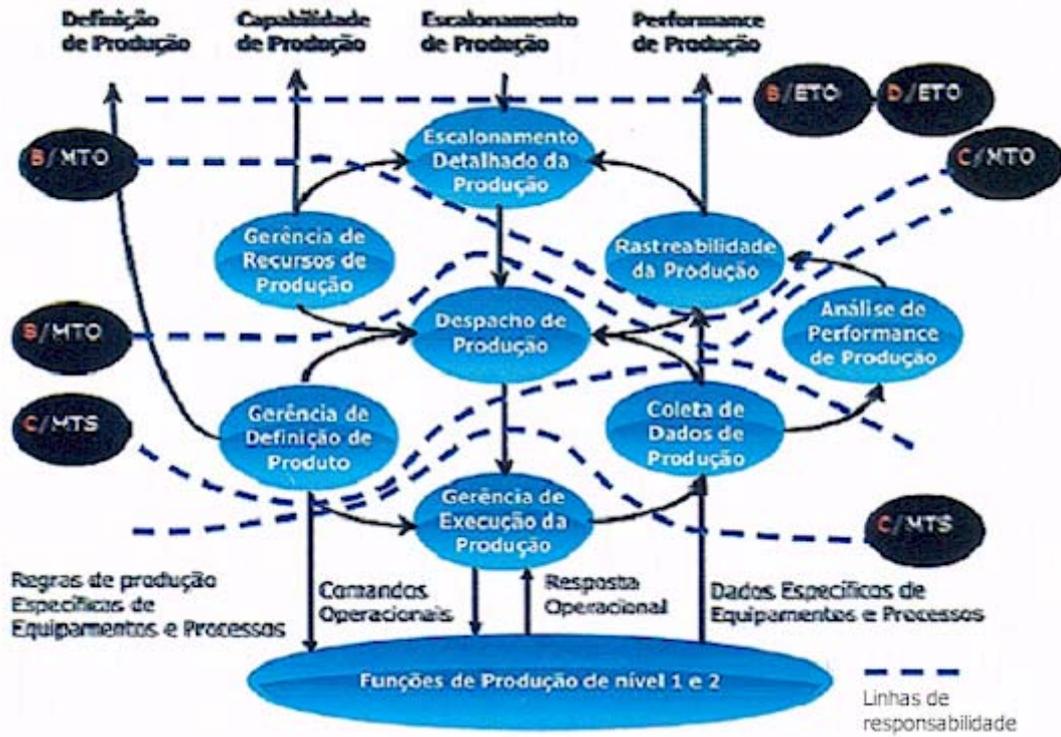


Figura 2.9 – Fronteiras de Responsabilidade entre Sistemas ERP e Sistemas MES – D=Discreto, B=Batelada, C=Contínuo (Segundo a Parte 3 da Norma ANSI/ISA-S95 - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006)).

Ainda, a Figura 2.10 mostra - no esquema - a linha de integração ERP - Manufatura definida para os quatro focos de atividades de operações: manutenção, produção, qualidade e inventário. Percebe-se que 100% das atividades da operação produção estão sendo gerenciadas pelo sistema MES, e que uma boa parcela das atividades de gerenciamento das operações de manutenção, qualidade e inventário estão sendo executadas pelo sistema ERP.

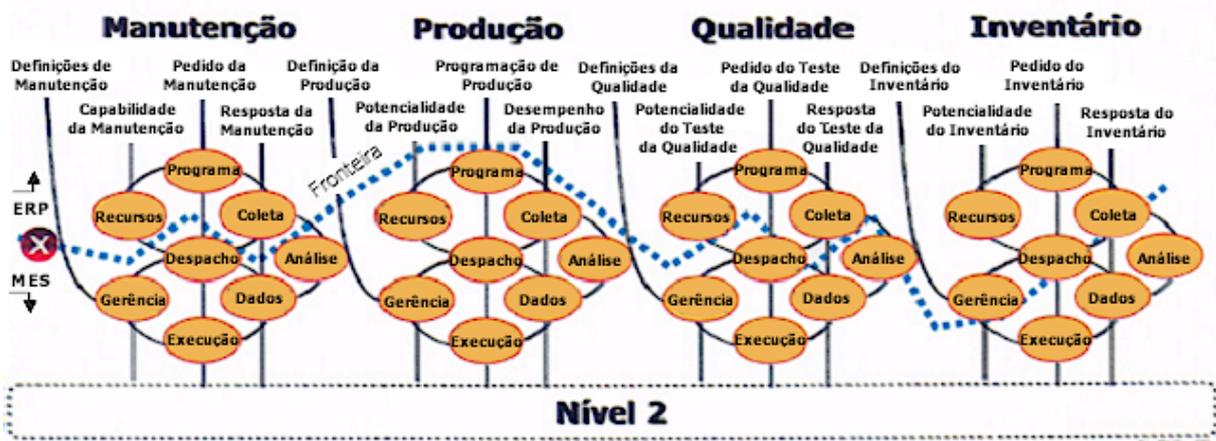


Figura 2.10 – Linha de Integração entre Sistemas ERP e Sistemas MES de Manufatura (Segundo a Parte 3 da Norma ANSI/ISA-S95) - Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006) - (Adaptado).

Do artigo, Seixas Filho (2006) tira a conclusão que as Partes 1 e Parte 2 da norma ANSI/ISA-95 se consagraram devido à adoção por parte de grandes participantes do mercado de ERP, a exemplo da SAP. Seixas Filho (2006) ainda conclui que a Parte 3 pode ser usada como referência para profissionais e empresas que desenvolvem aplicações de manufatura nível 3, como é o caso de sistemas MES para o gerenciamento da produção, sistemas PIMS para coleta de dados nas indústrias de processos, sistemas LIMS para o gerenciamento de informações de laboratórios (controle de qualidade etc.), sistemas WMS (*Warehouse Management Systems*) para controle de inventário, e até mesmo como referência para sistemas que fazem parte da abordagem PLM, como é o caso da simulação de processos em fábricas virtuais DM - *Digital Manufacturing*. As formas de tratar as informações de chão-de-fábrica e plantas industriais, que correspondem às funcionalidades do nível 3 (gerenciamento da planta), estão mais relacionadas com a maior ou menor complexidade de tratar as funções nos diferentes processos de produção - contínuo, *batch* ou discreto.

Mais recentemente, em maio de 2007, foi publicada a Parte 5 da norma ANSI/ISA-95. Esta parte da norma define um padrão para as transações de troca de informações entre aplicações de desempenho de negócios e atividades de manufatura associadas com os níveis ISA 3 e 4 (respectivamente MES e ERP). Esses padrões de troca de informações são destinados a facilitar, transferir e armazenar o conjunto de dados, como apoio na integração de sistemas de controle-empresarial. O padrão oferecido com a parte 5 da norma está em harmonia com os modelos e terminologia da Parte 1 e os atributos de modelo de objetos da Parte 2.

No final de 2009, a ISA com a coordenação de Martin Hollender - cientista do Grupo de Otimização de Processos e Produção do Centro de Pesquisas Corporativo da ABB⁵ em Ladengurg, Alemanha - e a participação de muitos especialistas de mercado, publicou a obra denominada “Collaborative Process Automation Systems”, onde se pode obter uma visão prática da “colaboratividade” nos sistemas de automação e seus benefícios para a indústria. O livro oferece uma visão abrangente do estado da arte em sistemas de automação de processos colaborativos CPAS (*Collaborative Process Automation Systems*) e discute temas tais como:

⁵ Apenas para ilustrar, a ABB é líder nos segmentos de energia e tecnologias de automação, opera em cerca de 100 países e emprega cerca de 120.000 colaboradores.

engenharia, segurança, conectividade, controle de processos avançados, gerenciamento de ativos de plantas industriais e eficiência do operador. Na obra, são encontrados tópicos sobre as atuais interfaces entre os sistemas de automação e os sistemas MES, assim como as interfaces envolvidas - de um modo geral - com os sistemas de automação, arquitetura de sistemas, infra-estrutura necessária para processos de colaboração, coletores de dados, além dos padrões de comunicação mais usuais como OPC (*OLE for Process Control*) e muitas referências das normas ANSI/ISA-88 e ANSI/ISA-95 - (<http://www.isa.org/cpas>).

Vale destacar que, na obra “Collaborative Process Automation Systems”, a ISA, com o apoio de Dave Woll, associado sênior do grupo de trabalho da ARC Advisory Group e responsável pelo desenvolvimento de estratégias para processos industriais, traz - de uma forma muito interessante no Item 1.4 do Capítulo 1 desta obra - uma visão do CPAS através das décadas e de como os sistemas de automação de processos estão situados na década atual. Woll, Dave (2009) diz que a tecnologia empregada nos sistemas de automação de processos colaborativos (CPAS) está disponível e comprovada para vários sistemas e apresenta um alto nível de “colaboratividade” com um baixo custo de propriedade TCO (*Total Cost of Ownership*). Deve-se entender que CPAS é um ambiente que permite aplicações avançadas, tais como controle de processos e gerenciamento de operações, e ainda envolve suporte a decisões e análises. Ainda, segundo Woll (2009), o CPAS - dentro das restrições do padrão de configuração e programação IEC 61131-3 (padrão internacional de linguagem de programação para controladores) - agrega um modelo único de processamento distribuído e abrange desde sensores e atuadores até interfaces ERP. Woll (2009), também ressalta que softwares MES ou HMI SCADA não são reconhecidos como subsistemas do CPAS e sim como classes de aplicações.

A Figura 2.11, extraída da obra, traz um gráfico onde mostra a evolução e características da tecnológica da automação de processos através das décadas e situa o surgimento das normas ANSI/ISA-88 e ANSI/ISA-95. Percebe-se que a discussão sobre a visão do CPAS começa na década dos anos 60 com a introdução do CIM - *Computer Integrated Manufacturing*. Na época, Woll (2009) afirma que tudo não passava de um exercício acadêmico e as aplicações CPAS eram focadas em sistemas supervisórios, isso em função dos computadores e tecnologias de rede não suportarem o CPAS. Já na década dos anos 70, onde surgiram os microprocessadores, os sistemas de automação foram centrados nos sistemas de controle distribuído DCS (*Distributed Control Systems*). A época marcou a

transição da tecnologia analógica para a tecnologia digital de precisão e utilização do padrão de comunicação “*token-passing*” IEEE 802.4 (Institute of Electrical and Electronic Engineers - Sociedade internacional que responde pela definição de padrões para redes locais, seguidos mundialmente pela indústria).

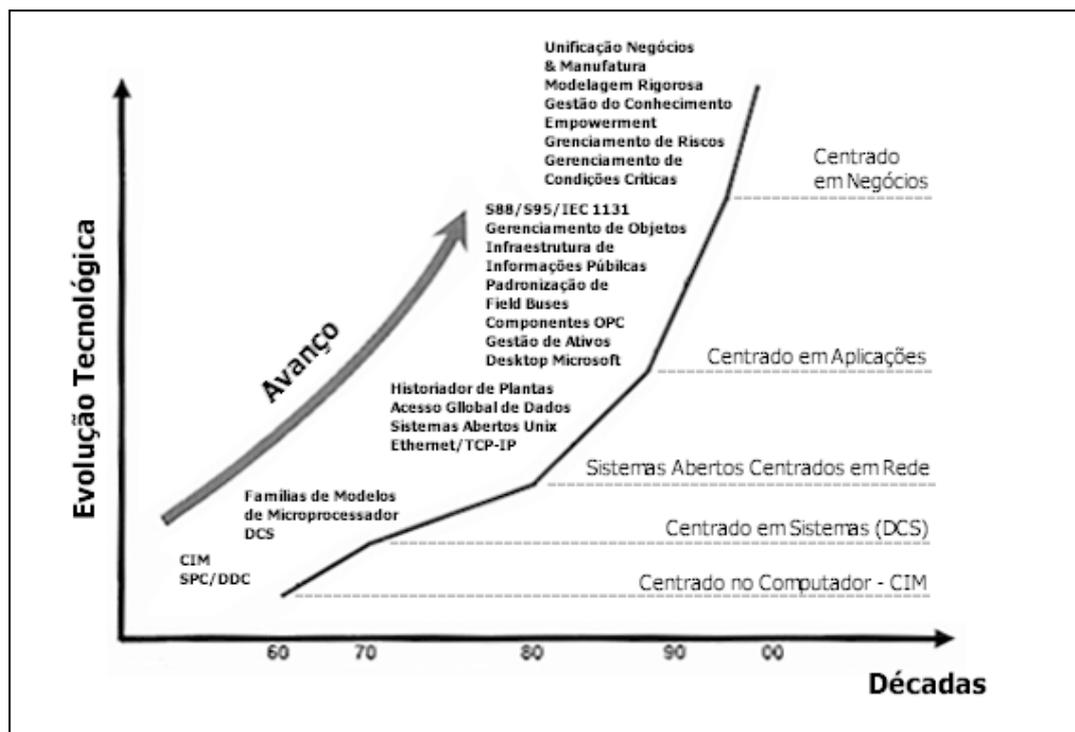


Figura 2.11 - Evolução tecnológica dos sistemas de automação - Fonte: Woll, Dave (2009) - Item 1.4 do Capítulo 1 da obra “Collaborative Process Automation Systems” – (Adaptado).

Ainda - segundo Woll, Dave (2009) - a década seguinte, que representou os anos 80, começou com o uso de sistemas proprietários e trouxe o “*Network Centric Open System*”, sistemas abertos centrados em rede, uma tecnologia desenvolvida pelo departamento de defesa dos EUA. O DoD (U. S. Department of Defense), na época, desenvolveu o Unix, o primeiro sistema operacional baseado em padrões abertos e, o mais importante, desenvolveu a tecnologia de rede baseada nos padrões IEEE 802.3 Ethernet TCP-IP. Essa tecnologia em rede permitiu o processamento “*client-server*” (cliente-servidor), a Internet, e ainda, a utilização de sistemas CPAS com acesso de dados de uma forma integral. Essa década também presenciou o primeiro sistema “*Process Data Historians*”, historiador de dados de processos. Woll

(2009) deixou claro que o protocolo de rede Ethernet TCP-IP se tornou padrão na infraestrutura de redes para automação de processos e sistemas corporativos.

A década dos anos 90 foi uma época centrada em “aplicativos”, que são soluções de sistemas (aplicações) ou programas de computador para um determinado fim. Isso aconteceu porque, segundo Woll (2009), a oferta de uma infra-estrutura em rede propiciou uma base comum para incorporar controle de processos e informações dentro de um mesmo ambiente de software. A época foi marcada pelo lançamento do sistema operacional Windows da Microsoft, que trouxe uma grande evolução tecnológica na automação de processos de produção e, principalmente, pelo maior avanço da década, que foi a popularização da tecnologia Internet. O mais impressionante, ainda segundo Woll (2009), foi como o padrão de rede Ethernet/TCP-IP possibilitou a disseminação do conceito da informação pública “*Common Information Infrastructure*”. Isso, juntamente com a Internet, permitiu que estruturas de redes centralizassem o controle de processos e aplicações supervisórias para interagirem em configurações de automação que, inclusive, englobou a tecnologia *Fieldbus*.

Woll (2009) ainda destaca que não se deve confundir a abordagem “*Object Management*”, gerenciamento de objetos, que é a maior beneficiária deste conjunto de tecnologias, com “*object programming*”, que é uma abordagem dada à programação orientada a objetos. A abordagem “*Object Management*” descreve a habilidade de organizar dados relacionados - ou informações - dentro de uma estrutura comum e desempenhar funções de alto nível, as quais se interagem como uma entidade definida: o “objeto”. É o marco dos sistemas de automação de processos colaborativos CPAS. Como exemplo de gerenciamento de objetos, Woll (2009) descreve o agrupamento de objetivos associados com uma unidade de operação e respectivas funções de desempenho, tal como a interrupção de alarmes com uma simples ação. Fica evidente no Item 1.4 de Dave Woll (2009), do Capítulo 1 do livro de Martin Hollender (2009), que até esta década havia um número ilimitado de abordagens para referir, projetar, colaborar e programar aplicações de automação de processos. A década de 90 consolidou um modelo de referência comum para estruturar aplicações de controle de processos, a ISA-88, e também trouxe um modelo de referência para aplicações de gerenciamento de operações, a ISA-95, assim como trouxe o padrão internacional IEC 61131-3, que estabelece o uso da maioria das linguagens e configurações de controle de processos. Com o uso do sistema operacional Windows, nos sistemas de controle de processos, a tecnologia OPC (*OLE for Process Control*) tornou-se a base para colaborar aplicações de

infra-estrutura, desenvolvimento e banco de dados. Woll (2009) declara que a tecnologia OPC foi reconhecida como protocolo de comunicação padrão para aplicações de missão não crítica (*non-mission-critical applications*), ou seja, aplicações que podem ser interrompidas.

Os anos 2000 consagraram-se como a década centrada nos negócios. Ainda, no Item 1.4 do Capítulo 1, Woll (2009) comenta que as outras quatro décadas anteriores foram as precursoras de tecnologia para o aprimoramento do desempenho comercial e surgimento dos sistemas colaborativos de automação de processos - CPAS. Com a utilização da tecnologia da informação nas plantas de processos, os benefícios se tornaram evidentes; a maioria das empresas fornecedoras de sistemas de automação de processos se empenhou em desenvolver novas soluções, marcando a época como a de uma nova geração de sistemas de automação - o problema foi a divergência de soluções encontradas. Nesse período, ainda meio confuso, muitas empresas apelaram para o ARC Advisory Group como um guia no controle avançado de processos e gerenciamento de operações. Foi desses esforços que surgiu o termo “*Collaborative Process Automation System - CPAS*”.

Do ponto de vista funcional, Woll (2009) expõe que, por exemplo, para as plantas de processos, existem apenas dois sistemas: o sistema de negócios e o sistema de automação, cada qual com diferentes classes de aplicação. No passado usava-se o conceito hierárquico BPCS (*Basic Process Control System*) e atualmente usa-se o conceito colaborativo CPAS - *Collaborative Process Automation Systems* (Figura 2.12). Isso aconteceu principalmente por causa do uso intensivo do padrão de rede Ethernet TCP-IP, que se caracterizou como “*backbone*” (infra-estrutura física central) para todas as aplicações, incluindo dispositivos de campo para troca de dados e informações. O padrão Ethernet TCP-IP proporciona para os sistemas CPAS uma infra-estrutura comum, funcionalidades transparentes, lógica concisa e padronização. Isso inclui as aplicações de controle de processos ISA-88, as aplicações de gerenciamento de operações ISA-95 (que abrangem MES e ERP) e o padrão internacional IEC 61131-3 usado para programação e configuração.

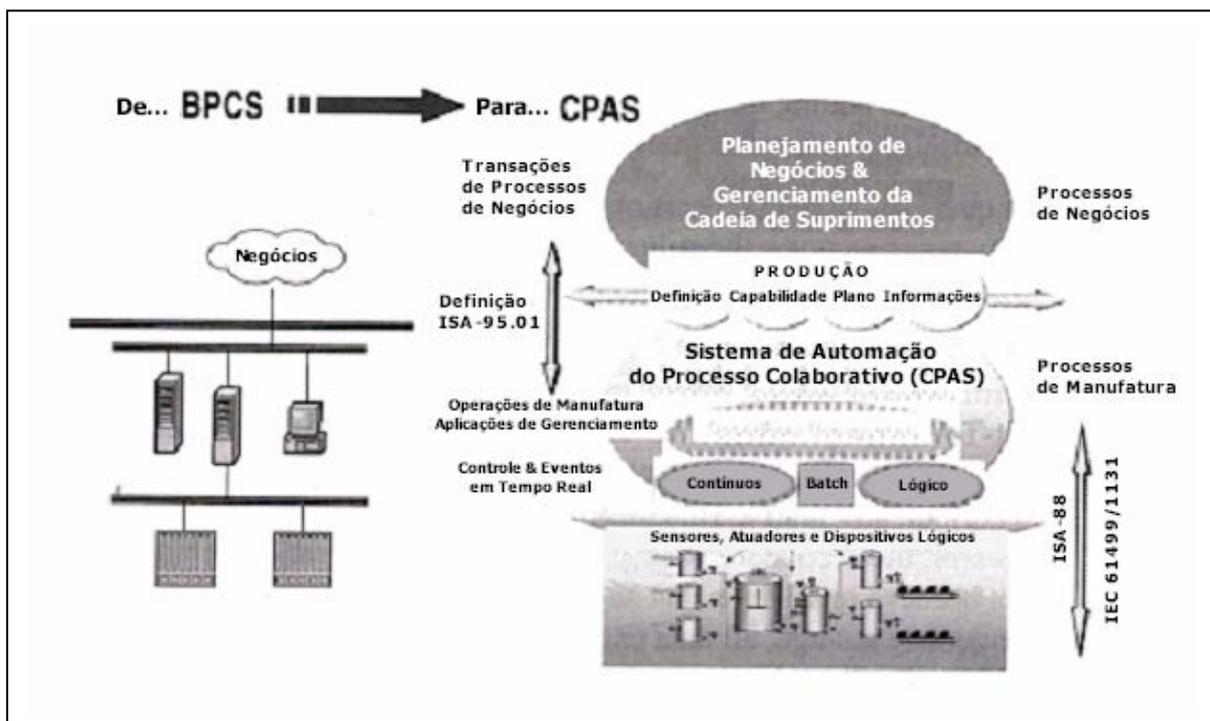


Figura 2.12 – Visão funcional do CPAS (*Collaborative Process Automation Systems*) - Fonte: Woll, Dave (2009) - Item 1.4 do Capítulo 1 da obra “*Collaborative Process Automation Systems*”.

Woll (2009) também discute a arquitetura do CPAS do ponto de vista lógico e ilustra na Figura 2.13. Ressalta que o núcleo dessa arquitetura lógica é o “*Common Information Infrastructure*” (Infra-estrutura de Informação Comum/Pública) e, como já mencionado, é vista da mesma forma que uma infra-estrutura física central. Como a arquitetura é baseada em padrões, seu ciclo de vida é longo e possibilita uma abordagem evolutiva com atualizações e novas gerações de sistemas. Esta arquitetura está apta a suportar uma grande variedade de funcionalidades, a exemplo do advento de redes LAN (*Local Area Network*) baseadas em dispositivos “*wireless*” (sem fio), dispositivos *Foundation Fieldbuses* para controle de processos e dispositivos *Profibus* e *DeviceNet* para controle lógico, assim como dispositivos específicos tais como analisadores, dispositivos de rastreabilidade e outros. Na prática os servidores de aplicação sustentam aplicações de missão crítica que geralmente usam canais de dados duplicados (*redundant*) e também suportam aplicações não críticas com interfaces OPC - *OLE for Process Control*. Dessa forma, como tudo é sustentado por um

único “backbone”, sistemas de negócios podem se comunicar de forma natural com sistemas de automação.

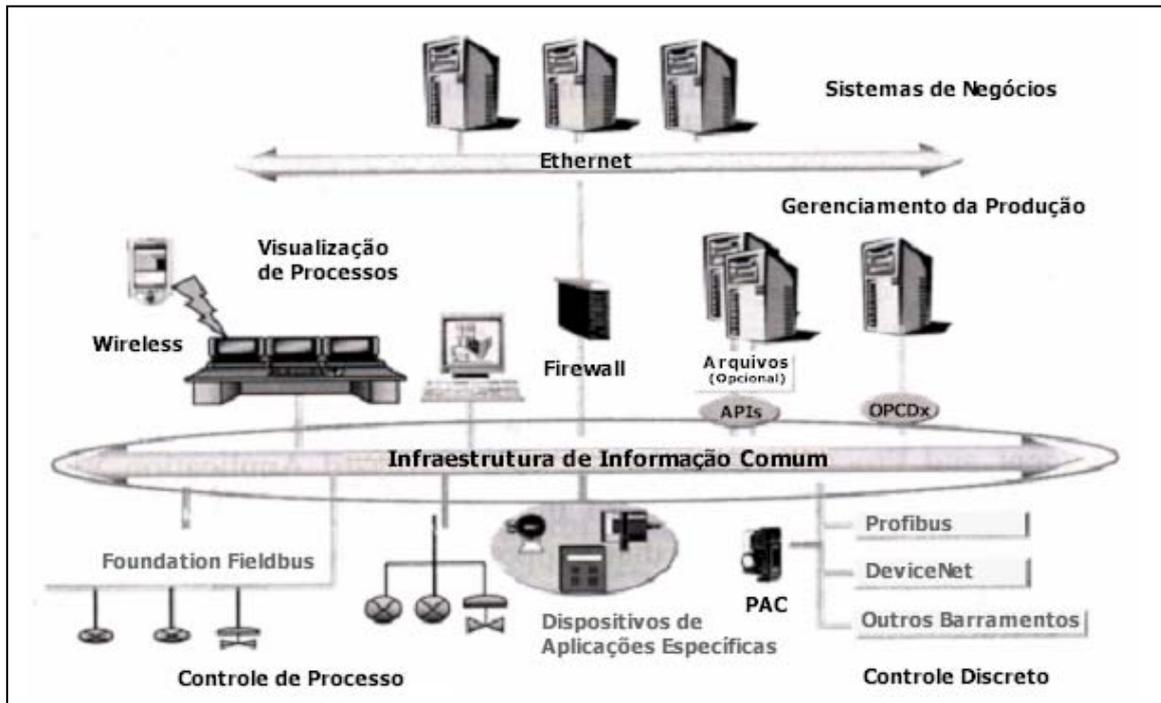


Figura 2.13 - Visão lógica do CPAS (*Collaborative Process Automation Systems*) - Fonte: Woll, Dave (2009) - Item 1.4 do Capítulo 1 da obra “*Collaborative Process Automation Systems*” - (Adaptado).

Woll (2009) ainda retrata o gerenciamento de operações e os aplicativos de controle de processos dentro de uma visão que ele denomina de “*Standard Application*” (Aplicação Modelo - Figura 2.14). Essa aplicação é construída dentro de modelos que suportam princípios CPAS e caracteriza-se por funcionalidades em tempo real e funcionalidades próximas de tempo real. Percebe-se na ilustração dois grandes grupos: Controle de Processos e Supervisão (*Process Control & Monitoring*) e Gerenciamento de Operações de Manufatura (*Manufacturing Operations Management*) - MES. Ainda, para completar, Woll (2009) afirma que a organização das funcionalidades em tempo real está baseada num quadro de controle (*control board*) com todas as responsabilidades manuais automatizadas, permitindo que o operador interfira somente em casos excepcionais.

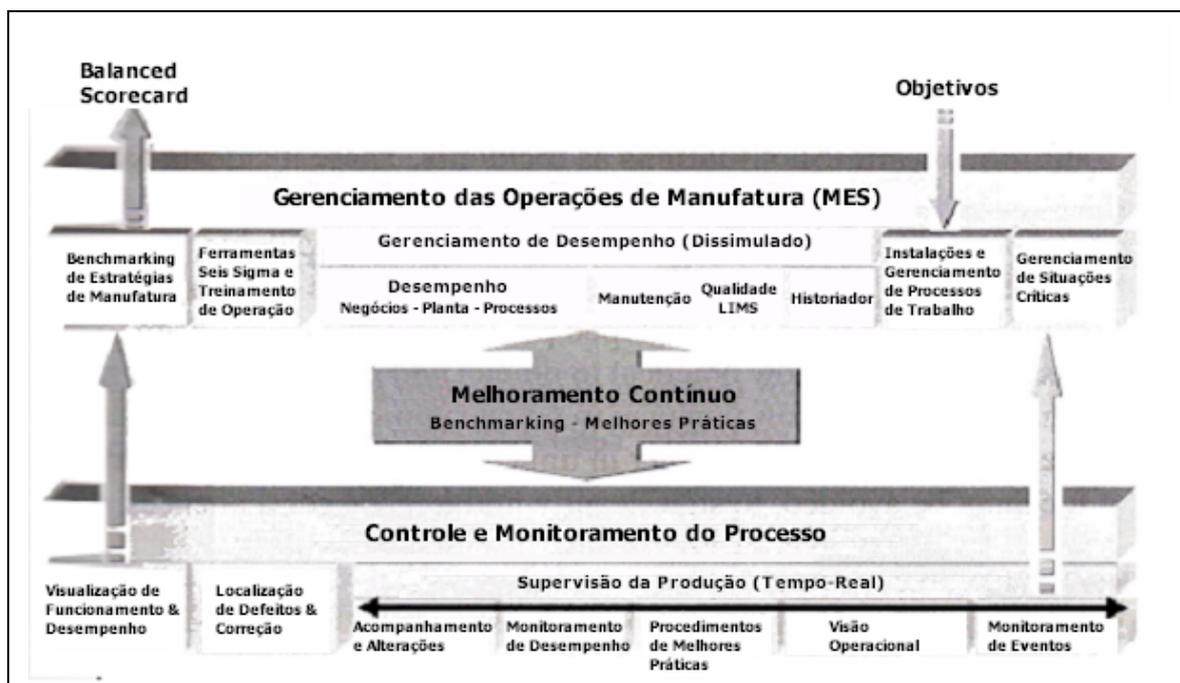


Figura 2.14 - Visão da aplicação modelo do CPAS (*Collaborative Process Automation Systems*) - Fonte: Woll, Dave (2009) - Item 1.4 do Capítulo 1 da obra “*Collaborative Process Automation Systems*”.

Nos tempos atuais existem inúmeras aplicações avançadas - e se desenvolvendo - com base nos sistemas colaborativos de automação de processos CPAS. O CPAS oferece informações atualizadas e precisas, e isso permite que as pessoas trabalhem com eficiência. O fato é que, com o CPAS, as equipes podem enxergar ao mesmo tempo as mesmas informações do processo de produção, onde Woll (2009) se refere com a expressão “*a single version of the truth*” (uma versão única da verdade). Afirma que o valor da informação é diretamente proporcional a quanto atualizada ela está, e como a informação pode, de uma forma ampla, estar disponível para os processos de colaboração. Quando um sistema de automação não é sustentado por uma estrutura do tipo “*Common Information Infrastructure*”, rotineiramente essa situação faz com que o sistema entregue mais dados e muito menos informação. Isso se torna um problema quando é necessário utilizar as informações para uma correta tomada de decisão, principalmente porque os sistemas são dinâmicos. No passado, segundo Woll (2009), o desempenho da planta era definido a partir da produção de uma quantidade determinada de um produto específico e em um período de

tempo estabelecido, onde todos os focos se concentravam no início desse período, representado por um turno. Isso está mudando! Agora o propósito está em localizar focos específicos de negócios para um produto específico e em um período pré-determinado de tempo, ao mesmo tempo em que o desempenho da planta é monitorado continuamente e em tempo real, avaliando assim novas formas de se fazer melhor. A existência de problemas no processo de produção ou ainda como qualquer erro pode ser corrigido e recuperado. Essa conotação recebe o nome de RPM (*Real-time Performance Management*) e está se tornando importante na medida em que novas ferramentas estão disponíveis para executar a desagregação funcional dos processos, correlacionar os processos às responsabilidades do operador, assim como prover entendimento do desempenho tanto do operador como do processo, tudo em tempo real. Essas ferramentas incluem processos rigorosos de modelagem, balanceamento de materiais e recursos de otimização.

Como se pode notar, a ISA, que a partir de 2005 se tornou “ISA - Setting the Standards for Automation”, tem muito a acrescentar aos seus associados e à comunidade global com a aplicação da ciência e conhecimento de mercados relacionados aos ambientes de instrumentação, sistemas de chão-de-fábrica e automação. Os assuntos são infindáveis e o número de publicações disponibilizadas pela ISA é enorme, além de contar com periódicos impressos e *on-line*, programas de certificação, conferências e exposições. A ISA pode ser considerada referência quando o assunto é TA - Tecnologia de Automação e TI - Tecnologia da Informação aplicada à indústria, no sentido de identificar e promover tecnologias e aplicações emergentes. Como se pode perceber, a ISA também, entre tantos méritos, se destaca por garantir e aplicar padrões baseados em legislações e normas internacionais, a exemplo das normas ANSI/ISA-S88 e ANSI/ISA-S95, e destacar conceitos e abordagens atuais como o B2MML - *Business to Manufacturing Markup Language*, que considera implementações em XML - *eXtensible Markup Language* como padrão de comunicação, o CPAS - *Collaborative Process Automation Systems*, que releva um modelo colaborativo de automação de processos, o RPM - *Real-time Performance Management* para o gerenciamento de desempenho de produção em tempo real, entre tantos outros. O destaque da ISA nesta pesquisa se dá pelo fato de ser uma das principais entidades que regem os sistemas de execução de manufatura MES.

2.1.1.3 - NAMUR (International User Association of Automation Technology in Process Industries)

NAMUR é um grupo de usuários envolvido particularmente com sistemas na indústria de processos químicos ou farmacêuticos, cujas recomendações estão apoiadas nas definições da norma ANSI/ISA-95. A Figura 2.15, encontrada na obra de Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution Systems - MES, traz uma visão detalhada das melhores funcionalidades implementadas na indústria de processos, adotadas pelo grupo NAMUR.

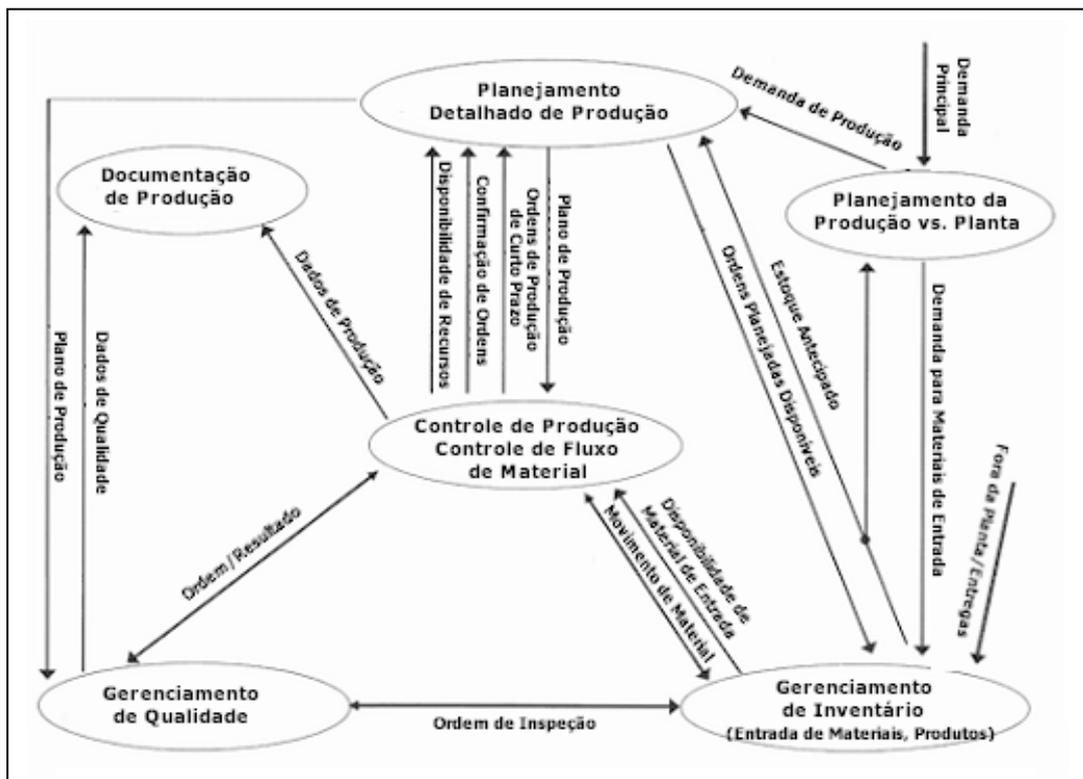


Figura 2.15 - Recomendações do Grupo NAMUR apoiadas nas definições da norma ANSI/ISA-95 -

Fonte: Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution System – MES.

As funções representadas na figura, assim como os fluxos de informações, estão dispostos de tal forma a atender - em particular - a indústria de processos. Ainda, na figura, não se percebe uma linha clara separando o nível de automação da camada MES. Kletti (2007) afirma que a possível razão para isso é que, na indústria de processos, partes

importantes do gerenciamento da produção têm que ser mapeadas dentro das máquinas ou nos próprios sistemas de controle das plantas industriais, mesmo antes dos objetivos de qualidade e eficiência serem alcançados. Desta forma, o grupo NAMUR recomenda que os sistemas MES sejam ajustados para ambientes orientados a processos, ainda, no caso de grandes instalações, mesmo que o limite entre o planejamento agregado e o planejamento detalhado, ou o planejamento de médio prazo e o planejamento de curto prazo, não seja feito de um modo claro como no caso de um ambiente de produção orientado a piso (*shop*), onde as variantes de produção ocorrem com maior frequência.

2.1.1.4 – VDI (Verein Deutsche Ingenieure)

Outra associação, também muito importante, citada na obra de Kletti (2007) é a VDI (Verein Deutsche Ingenieure). Em 2004, com base em padrões e nas propostas atuais de mercado, a VDI iniciou um trabalho de definição de sistemas MES em sua linha de procedimentos (*guideline*). Foi dada especial atenção para o termo MES afim de que seu significado fosse corretamente fixado e não apenas usado impropriamente por vendedores de sistemas. O objetivo desse empenho foi o de manter uma rígida e proveitosa definição do termo para que não fosse desacreditado pelas empresas líder de manufatura. Essa linha de procedimentos deu início a processos de excelência e funções MES para as necessidades de vários tipos de manufatura. As fábricas com alto grau de automação em suas linhas de produção têm necessidade de funções muito diferentes de fábricas compostas de pequenas séries. Seus sistemas de produção, no que diz respeito à linha de procedimento, não foram concebidos para primeiro suportarem funções MES, porém exigiram - em especial - definições de tarefas as quais um sistema MES pode desempenhar. Cuidados especiais foram considerados, a exemplo da implementação de tais recomendações. No que diz respeito à terminologia, esta foi rigorosamente selecionada de acordo com as atualmente em uso.

A associação VDI define as tarefas que um sistema MES deve apresentar, conforme segue:

- Planejamento detalhado e controle da programação detalhada;

- Gerenciamento de recursos de operação;
- Gerenciamento de materiais;
- Gerenciamento de mão-de-obra (corpo de funcionários);
- Aquisição e processamento de dados;
- Gerenciamento de interface;
- Análise de desempenho;
- Gerenciamento de qualidade;
- Gerenciamento da informação.

2.1.2 Estrutura dos Sistemas MES

Os sistemas MES estão em constante evolução. Atualmente os sistemas MES podem ser encontrados com outras denominações como MOS (*Manufacturing Operation System*) ou MOM (*Manufacturing Operations Management*). Trata-se da evolução não somente das funções disponíveis em determinados sistemas MES atuais, mas também da evolução de conceitos. Modelos de atividades são definidos para as tarefas necessárias dentro do nível de execução de manufatura, comunicação com sistemas de gestão, comunicação com o gerenciamento da produção, comunicação com sistemas de desenvolvimento de produtos e processos, e outros. Um exemplo, como citado, são os modelos definidos para as operações de manutenção, produção, qualidade e inventário fixados pela norma ANSI/ISA-95. Aqui a ISA, conforme a Figura 2.16, descreve uma arquitetura de três níveis e introduz não somente o termo MES, mas também o termo MOS, para sistemas de operação de manufatura.

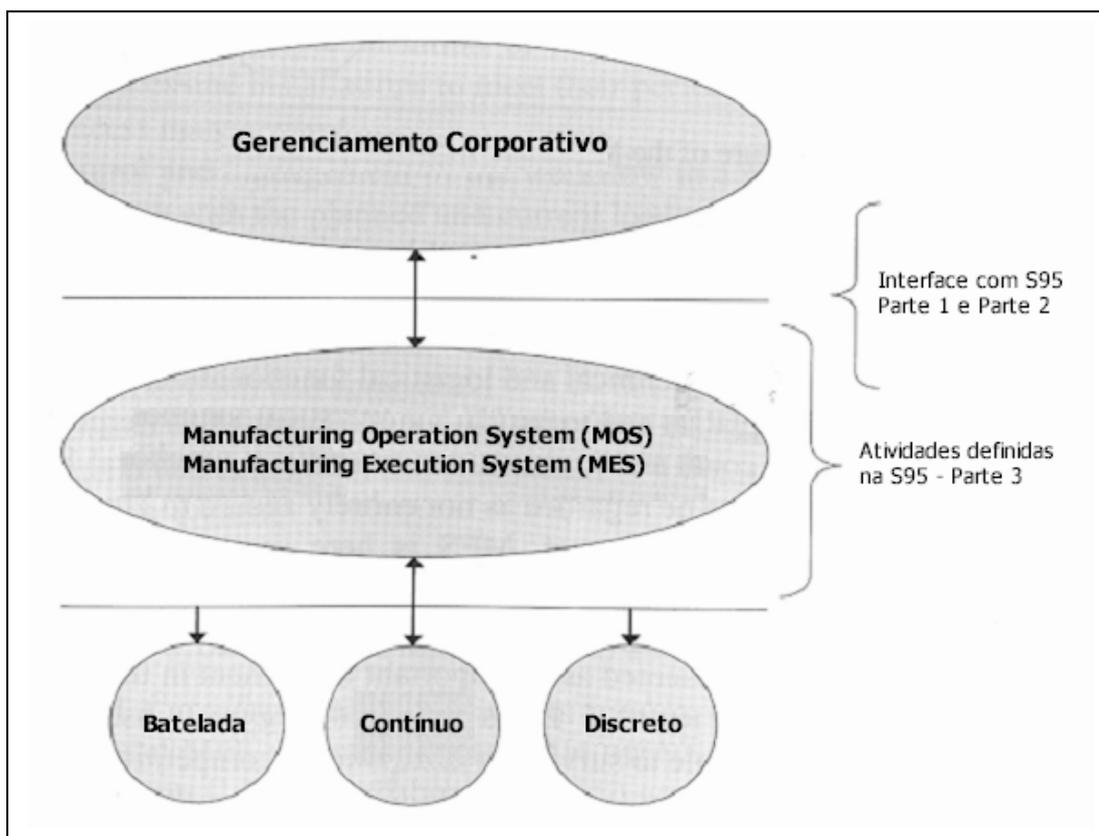


Figura 2.16 – Arquitetura ISA de três níveis - Fonte: Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution System - MES.

A Apriso, uma empresa com várias soluções de aplicações de TI em tempo real - com escritórios centrais nos EUA, França, China e Japão, e escritórios regionais no Brasil, Itália, México, Polônia e Cingapura - define a solução MOM - *Manufacturing Operations Management* - como um sistema de TI para manufatura construído sobre uma plataforma unificada para executar processos de operações de manufatura que abrangem a empresa como um todo. As soluções MOM incluem os processos de produção, qualidade, armazenagem, manutenção, mão-de-obra e a cadeia de fornecimento. Ainda, segundo a Apriso, as soluções MOM oferecem um sistema de planejamento de negócios com visibilidade e controle sobre a automação e outros equipamentos de chão-de-fábrica para melhorar a flexibilidade, reduzir os custos e melhorar a qualidade nas empresas - (www.aprison.com). Nesse contexto, percebe-se claramente que a solução MOM é uma solução MES aprimorada.

Outra empresa de classe mundial que adotou a solução MOM em seu portfólio de produtos e serviços foi a Intercim, uma empresa de 25 anos - com escritórios focados nos EUA, EMEA (*Europe, Middle East, Africa*) e Ásia - que a partir de sua união em 2007 com a empresa Pertinence - com sede em Paris - tornou-se uma empresa global de sistemas de execução de manufatura e soluções de inteligência. Em 2009, a Intercim e a Dassault Systèmes (DS) - empresa líder mundial em 3D e PLM - 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 ao encontro das 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.

Outro caso não menos importante da colaboração entre MES e PLM foi a aquisição da UGS PLM (atual Siemens PLM Software) pela Siemens Corporation. Kevin Kelly, editor da revista e portal “Automotive Design Production” - em agosto de 2007 - publicou um interessante artigo intitulado “The Importance of MES-PLM Integration” onde ressalta a necessidade que as empresas têm de melhorar seus recursos para conseguir sobrepor os desafios de um mercado globalizado. Segundo Kelly (2007), este foi o principal motivo da aquisição da UGS PLM - empresa líder no mercado mundial de PLM - pela Siemens.

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 infra-estrutura de PLM oferecida pela UGS para superar as barreiras que tem 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, desta forma assegurando, conforme relata no artigo Giorgio Cuttica - na época líder das soluções Simatic IT da Siemens - o seguinte: “A integridade de dados e processos num primeiro momento iniciam no projeto de um novo produto para permitir que todas as informações sejam consideradas na planta de

produção”. Isso permite que a área de produção teste e valide os processos de manufatura antes que eles entrem em execução, desta forma, permitindo assim a redução de tempo de desenvolvimento de produto e a integração de mudanças no processo de produção de uma maneira mais efetiva e econômica. “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”, acrescenta Cuttica (2007). 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*”.

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 e uma análise mais fiel dos processos de produção, 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 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. 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>).

Kletti (2007), dentro de um contexto de diferentes estratégias de controle e diferentes tipos de manufatura, questiona sobre a possibilidade de existir um sistema MES ideal. Certamente o “sim” para todas as indústrias de manufatura não seria a resposta correta. Todavia, afirma que pode ser feito um esforço para se esboçar as funcionalidades ideais para, por exemplo, um sistema MES em ambientes de manufatura discreta ou até para ambientes de manufatura de produção em lotes (*batch*). O que ele chama de “área de trabalho” de um sistema MES pode se estender desde a interface com aplicações de gerenciamento corporativo (ERP) até os níveis de aquisição de dados de chão-de-fábrica (níveis de supervisão, controle e automação), comunicação com sistemas industriais, fornecimento de dados para controladores de máquinas (comando numérico) ou até mesmo ativar diretamente vários dispositivos. De

uma forma geral, Kletti (2007) ainda afirma que o MES releva uma extensiva área operacional, a qual não somente inclui um abrangente âmbito de diferentes tópicos, mas também cobre diferentes níveis de tempo, desde dias e semanas até segundos, para funcionalidades específicas, as quais podem ser divididas nas seguintes áreas:

- Funcionalidades próprias dos sistemas MES;
- Comunicação com aplicações de gerenciamento corporativo;
- Comunicação com o ambiente de manufatura.

Kletti (2007) também reconhece que um sistema de planejamento e controle de produção PPS (*Production Planning and Control System*) cobre três grupos de funções: produção, qualidade e mão-de-obra (*personnel*). Dentro desses três grupos de função, Kletti (2007) faz uma correlação entre os grupos de funções de um sistema MES e os módulos de sistemas PPS disponíveis no mercado e afirma que um sistema básico de PPS (ou PCP como é conhecido no Brasil) assegura a conectividade, em tempo real, entre o ambiente de manufatura e o ambiente corporativo, além de centralizar as informações de planejamento da produção.

De uma maneira análoga a esses grupos de funções nos sistemas PPS/ERP, conforme ilustrado na Figura 2.17, um sistema MES também pode ser dividido em três grupos de funções. Primariamente, Kletti (2007) classifica como funcionalidades para produção, funcionalidades para qualidade e funcionalidades para alocação de pessoal (equipes de trabalho/mão-de-obra).

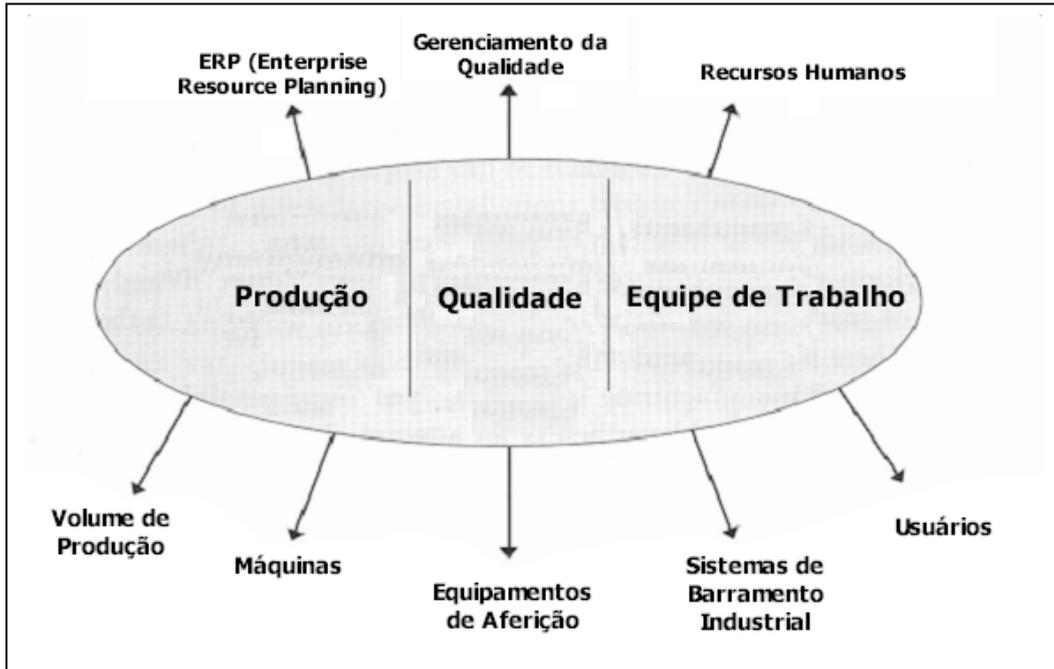


Figura 2.17 – Grupos de funções de um sistema MES - Fonte: Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution System – MES – (Adaptado)

Embora já visto em parágrafos anteriores e com diferentes visões como a da MESA, ISA, NAMUR e VDI, Kletti (2007) ainda, com o propósito de não deixar parecer tais grupos de funções abstratos, descreve as principais características de cada grupo e em alguns casos as designações usadas nas definições clássicas de cada módulo, a partir do qual o MES se desenvolveu. As definições usadas por Kletti (2007) não incorporam os avanços atuais dos sistemas MES, são descritas aqui para formar a base de entendimento “clássica” dos sistemas MES. Vale destacar que, entre tantos autores que situam e contextualizam os sistemas MES (Tabela 2.3), Jürgen Kletti (2007) foi escolhido porque se mostrou, dentro de um conceito mais tradicional de MES, um autor completo.

Tabela 2.3 - Bibliografia de autores que situam e contextualizam os sistemas MES

Autor(es)	Título da Obra	Editora	Ano
Michael McClellan	Applying Manufacturing Execution Systems (Resource Management)	The St. Lucie Press/APICS Series on Resource Management	1997
Harinder Singh Jagdev, Johan C. Wortmann e Henk Jan Pels	Collaborative Systems for Production Management (IFIP Advances in Information and Communication Technology)	Klumer Academic Publishers Group	2003
Michael McClellan	Collaborative Manufacturing: Using Real-Time Information to Support the Supply Chain	St. Lucie Press	2003
Kevin Ake, John Clemons, Mark Cubine e Bruce Lilly	Information Technology for Manufacturing: Reducing Costs and Expanding Capabilities	St. Lucie Press/CRC Press LLC	2004
Duc T. Pham	Intelligent Production Machines and Systems - First I*PROMS Virtual Conference	Elsevier	2005
Jürgen Kletti	Manufacturing Execution System - MES	Springer	2007

Bianca Scholten	MES Guide for Executives: Why and How to Select, Implement, and Maintain a Manufacturing Execution System	ISA – International Society of Automation	2009
Heiko Meyer, Franz Fuchs e Klaus Thiel	Manufacturing Execution Systems (MES): Optimal Design, Planning, and Deployment	McGraw-Hill	2009
Lihui Wang e Andrew Yeh Ching Nee	Collaborative Design and Planning for Digital Manufacturing	Springer	2009
Martin Hollender	Collaborative Process Automation Systems	ISA – International Society of Automation	2010
Michael Rebstock, Fengel Janina, Heiko Paulheim e K.-D. Naujok	Ontologies-Based Business Integration	Springer	2010
Xiu-Tian Yan, Chengyu Jiang e Benoit Eynard	Advanced Design and Manufacture to Gain a Competitive Edge: New Manufacturing Techniques and their Role in Improving Enterprise Performance	Springer	2010

2.1.2.1 MES - Grupo de Função Produção

O grupo de função “produção” pode incluir os seguintes módulos:

- **PDA - *Production Data Acquisition* (Coleta de Dados de Produção):** Aqui são armazenados dados de ordens, os tempos relacionados à mão-de-obra (turnos, dias ou semanas) e as quantidades, incluindo peças de refugo. Também é possível armazenar dados referentes ao consumo de materiais, assim como associar os recursos de produção e processos às respectivas ordens. Tudo pode ser respectivamente disponibilizado para aplicativos de gestão ou visualizado em tempo-real para detalhamento e análise de funções de produção. Kletti (2007) não comenta nada sobre as funções de “*as-built*” para a manufatura digital do PLM;
- **MDC – *Machine Data Collection* (Coleta de Dados de Máquina):** Neste módulo, máquinas ou qualquer recurso operacional (dispositivos) pode ser gerenciado ou detalhado, incluindo métodos - manuais ou automatizados - de dados de “status” (de situação). Os dados podem ser capturados e fornecidos não apenas por terminais convencionais, mas também por sistemas industriais do tipo “*bus*” (via barramento). Ainda, são usados dispositivos como contadores automáticos de quantidades, balanças, escalas e equipamentos similares. Os dados são fornecidos em um formato compactado para outros sistemas para análise de efetividade e falhas de produção;
- **Estação de controle, tabela de planejamento:** Aqui, Kletti (2007) afirma que esse módulo é motivo de intensas discussões. De um ponto de vista, sistemas ERP via funções APS - *Advanced Planning and Scheduling* - oferecem possibilidades de planejamento dentro de um período de tempo. De outro ponto de vista, a ênfase do módulo de estações de controle e tabelas de planejamento dos sistemas MES fica por conta de preparar o plano de tecnologia disponível. Muitas vezes, esse plano pode sofrer intervenções manuais provenientes da experiência de operadores, ou até

mesmo receber - porque possibilita este tipo de suporte - carga de dados de simuladores para melhoria de processos, como é o caso da manufatura digital do PLM ou outros sistemas de simulação de eventos discretos;

- **TRM/DNC - *Tool and Resource Management and Transmission of Machine Settings / Distributed Numerical Control* (Gerenciamento de Recursos e Ferramentas e Transmissão de Configurações de Máquinas/Controle Numérico Distribuído):** Um sistema MES pode estar capacitado para gerenciar ferramentas, equipamentos e dispositivos auxiliares, ressaltando o estado técnico dos recursos de operação, disponibilidades, compatibilidades e avaliação qualitativa desses recursos. Devido à proximidade direta da aquisição de dados das máquinas, também surge a possibilidade do MES participar da manutenção preventiva dos equipamentos, dessa forma, reduzindo a possibilidade de paradas;
- **MPL – *Material and Production Logistics* (Logística de Material e Produção):** Kletti (2007) afirma que um ponto importante na produção é a circulação e organização dos materiais nas instalações industriais. Aqui, o módulo MPL - *Material and Production Logistics* - assim denominado em sua obra, ajuda a manter uma visão geral e a gerenciar as atividades de transporte e circulação de materiais de produção no tempo certo. As funções deste módulo não devem ser confundidas com funções de gerenciamento de estoque em armazéns. Ao contrário, as funções do módulo MPL estão relacionadas com estoques WIP (*Work in Process*) que, em outras palavras, tratam dos materiais em circulação no momento da produção.

2.1.2.2 MES - Grupo de Função Qualidade

Aqui, Kletti (2007) afirma que, o grupo de função qualidade, no sentido de assegurar a operação de qualidade, não pode ser confundido com qualquer tipo de gerenciador

de qualidade oferecido, por exemplo, na maioria dos sistemas ERP, os quais são entendidos como sistemas de gerenciamento de qualidade para toda a empresa.

- **SPC – *Statistical Process Control* (Controle Estatístico de Processo):** O módulo SPC está relacionado com a avaliação do desempenho dos equipamentos através da aquisição *on-line* de dados (medidas de desempenho e tendências), para comparação com valores padrões pré-estabelecidos. Qualquer medida fora de padrão, e que ultrapasse os níveis de tolerância especificados, será motivo de advertência do sistema. O módulo SPC tem a característica de armazenar os dados de desempenho de uma forma randômica para futuras análises e também para avaliar tendências específicas. Essas tendências podem ser mostradas *on-line* diretamente nas instalações de produção com o propósito de identificar e prevenir o mau funcionamento da produção;
- **NCM - *Non-Conformance Management* (Gerenciamento de Não-Conformidade):** Kletti (2007) afirma que o módulo NCM - de conformidade regulatória - se preocupa com os produtos que estão fora das especificações e são alvos de intenso trabalho de investigação, com base em aspectos técnicos, condições de manufatura e materiais empregados, para descobrir desvios padrão. Vários contra-recursos são usados para identificar a causa;
- **Recebimento de mercadorias (*incoming goods*):** O módulo de recebimento e despacho de mercadorias, denominado por Kletti (2007) de “*Incoming Goods*”, pode ser considerado como uma medida da taxa de fornecimento de materiais - que ajuda o gerenciamento da qualidade - especialmente designada para registros específicos de liberação ou despacho de mercadorias, verificação de número de lote e, ainda, prevenção - possibilita alarmes *on-line* caso determinados valores estejam fora da tolerância;
- **Gerenciamento de inspeção de equipamentos:** Sem um nome próprio, Kletti (2007) afirma que este módulo é diretamente comparado com o módulo TRM - *Tool and Resource Management and Transmission of*

Machine Settings - do grupo “produção”. Aqui, são executadas inspeções, medições e testes de equipamentos, com o propósito de assegurar os padrões estabelecidos. Normalmente as informações são disponibilizadas de imediato durante a inspeção e procedimentos de testes;

- **PDP – *Process Data Processing* (Processamento de Dados de Processo):** Kletti (2007) afirma que um procedimento, não muito usual, nos sistemas MES é o uso do módulo de processamento de dados de processo (listas de processos). O uso desse recurso possibilita tornar mais ativa a proposta de que qualidade não está focada apenas no produto, mas também depende dos processos de produção. Um exemplo na obra de Kletti (2007), fica por conta das medidas de pressão e temperatura usadas nos processos de produção, que são de importância decisiva para a qualidade e, por esta razão, um sistema MES deve ser capaz de adquirir valores de processos diretamente da produção, verificar tolerâncias e limites de interferências;

2.1.2.3 MES – Grupo de Função Recursos Humanos

- ***Staff Work Time Logging* (Registro de tempo da equipe de trabalho):** Ao longo de sua história, o grupo de funções de recursos humanos sempre esteve muito próximo da área de gestão corporativa. Segundo Kletti (2007), o sistema MES possibilita mapear uma série de refinadas simplificações no tratamento de dados de alocação e gerenciamento de recursos humanos. O módulo de registro de tempo de mão-de-obra “*Staff Work Time Logging*” cobre os dados do registro de ponto de entrada e saída, períodos de ausência, fechamento mensal ou por períodos pré-determinados;
- ***Incentive Wages* (Gratificações):** O módulo de gratificações (*Incentive Wages*) trabalha em conjunto com o módulo de registro de tempo da equipe de trabalho (*Staff Work Time Logging*). Em função de sua proximidade com a aquisição de dados de produção, o módulo de cálculo de gratificações - e

incentivo de salários - pode criar uma correlação entre os registros de ausência e os tempos das ordens de trabalho e simplificar em muito o controle de desempenho de tarefas ou grupos de tarefa;

- ***Short-term manpower planning (Planejamento de curto prazo da força de trabalho)***: Kletti (2007) afirma que, com o módulo de planejamento de curto prazo da força de trabalho (*Short-term manpower planning*) é possível - de um modo similar ao módulo de tabela de planejamento do grupo “função produção” - obter uma visão geral das atividades de mão-de-obra necessárias, e preparar - de uma forma refinada - as respectivas programações de alocação de pessoas, inclusive com o auxílio de funções automáticas do sistema MES. Essas programações levam em conta a carga de trabalho de um departamento, um nível da planta industrial ou de toda a empresa. Kletti (2007) reforça, mais uma vez, que o plano de trabalho de curto prazo só terá efetividade se for atualizado com base nos dados reais de produção;
- ***Staff Work Time Logging (Controle de acesso - entrada e saída de pessoas)***: Aqui, Kletti (2007) reforça que, se o módulo de registro de tempo da equipe de trabalho (*Staff Work Time Logging*) estiver bem integrado dentro do sistema MES, uma consequência dessa integração é que o controle de acesso nas instalações de produção também pode ser implementado via módulo de controle de acesso - aqui se percebem formas distintas de aplicações;
- ***Gerenciamento de escala de trabalho***: Kletti (2007) afirma que outro mecanismo pode ser incorporado no contexto de um sistema MES, para que se possam tirar resultados imediatos e estabelecer valores limites de qualidade de mão-de-obra, taxas de utilização, paradas etc. Ainda ressalta que, para que se possa - de uma forma automática - implementar escalas de trabalho efetivas, é importante ter em mãos o estado das últimas falhas operacionais com o propósito de ter um controle de produção mais eficiente em nível operacional.

Nos sistemas MES, independente das aplicações encontradas nos três grupos de funções - produção, qualidade e recursos humanos - os dados devem ser atualizados de uma forma técnica adequada e em base de dados padronizada. Para completar, Kletti (2007) afirma que um ponto importante de um sistema MES é a sua adaptabilidade. Sistemas de produção são estruturados de várias formas e os processos nos sistemas de produção cobrem uma variedade de alternativas. Uma solução MES padronizada dificilmente é poderosa o suficiente para atender - via parâmetros - todas as necessidades e complexidades. Um sistema MES deve oferecer a possibilidade de aceitar o desenvolvimento de novas rotinas - via linguagem de programação - para necessidades específicas em diferentes níveis para, inclusive, serem incorporadas no sistema de menu. Um sistema MES deve possuir interfaces apropriadas para se comunicar com a maioria dos sistemas ERP, sistemas de recursos-humanos e sistemas de qualidade mais comuns do mercado. Em qualquer outro caso de comunicação com sistemas especiais ou específicos (do lado do gerenciamento corporativo ou do lado do gerenciamento da produção), os sistemas MES devem possuir interfaces parametrizadas as quais podem ser adaptadas facilmente, como no caso da comunicação dos sistemas MES com os sistemas de manufatura digital do PLM.

Como se pode notar, a pesquisa constatou que, em nenhum momento, Kletti (2007) menciona a colaboração entre MES e PLM. A visão de Ketti (2007), com relação aos sistemas MES, pode-se dizer que é “clássica”. Uma visão clássica - definida aqui na pesquisa - é uma visão que integra dados de chão-de-fábrica apenas com sistemas de gestão ERP. É uma visão que, embora limitada, é usada pela maioria das empresas e fornecedores de sistemas MES. Ainda que Kletti (2007) mencione que fábricas ou processos de produção possam ser processados por ferramentas de simulação e devolvidos para ambientes operacionais, em nenhum momento usa a abordagem PLM para apoiar a colaboração entre chão-de-fábrica e a gestão do projeto de produtos ou planejamento de processos. Kletti (2007) segue a linha de raciocínio da maioria das empresas fabricantes de MES do mercado mundial: “colaborar chão-de-fábrica e ambientes corporativos”.

2.1.3 MES - Integração Vertical e Horizontal

Em sua obra “Manufacturing Execution System - MES”, Kletti (2007) traz uma visão de como as informações de um sistema MES são distribuídas nos diferentes níveis de colaboração de uma empresa, assim como das necessidades dos sistemas MES por tipos de manufatura - discreta, processo e para pedido (*make-to-order*). Kletti (2007) conta que, no passado, basicamente a comunicação era feita entre os níveis de automação e o sistema ERP e, muitas vezes, os dados eram repassados de uma forma manual.

Com o desenvolvimento dos conceitos dos sistemas MES, que incluem abordagens de TI, a conexão entre o nível de gestão (ERP) e o nível de produção (MES) foi melhorada para suportar ciclos de comunicação e períodos de tempo bem mais longos. Kletti (2007) afirma que agora é possível estabelecer pelo menos três níveis de ações e inter-relações: 1) gerência corporativa, 2) gerência de produção e 3) produção - (Kletti (2007), como a maioria dos autores, não inclui a inter-relação com o planejamento de processos e desenvolvimento de produtos). No relacionamento com ERP ou PPS (PCP), Kletti (2007) afirma que a gerência corporativa tende a trabalhar com horizontes de tempo de longo prazo para decisões que envolvem semanas ou meses. Aqui, um planejamento de produção mais grosseiro - plano agregado - negocia com um planejamento de médio prazo que considera semanas ou dias que, uma vez detalhado, atua como planejamento de curto prazo (dias e turnos), também conhecido como “carga de trabalho” (*load planning*).

As decisões tomadas no âmbito do gerenciamento de produção consideram, via de regra, uma variação de tempo de turnos para minutos, assim como o nível de automação - com suas máquinas e sistemas de controle necessários - de minutos para segundos. A Figura 2.18 simboliza - para um sistema MES - as características de controle dentro de diferentes níveis os quais acontecem dentro de diferentes ciclos de tempo. Não existem limites precisos entre os três níveis de ação. Por exemplo, entre o ERP e o MES pode-se encontrar funções do APS - *Advanced Planning and Scheduling*, as quais, dependendo do tipo de produção, tendem a ficar mais próximo do ERP ou do MES. Também é pouco claro o limite entre o MES e a automação. A presença de funções tais como as de aquisição de dados e a transmissão de ajuste de máquinas criam uma conexão entre os níveis MES e automação, as quais podem ser tratadas por ambos os níveis, respectivamente, com finalidades de planejamento ou configurações técnicas.

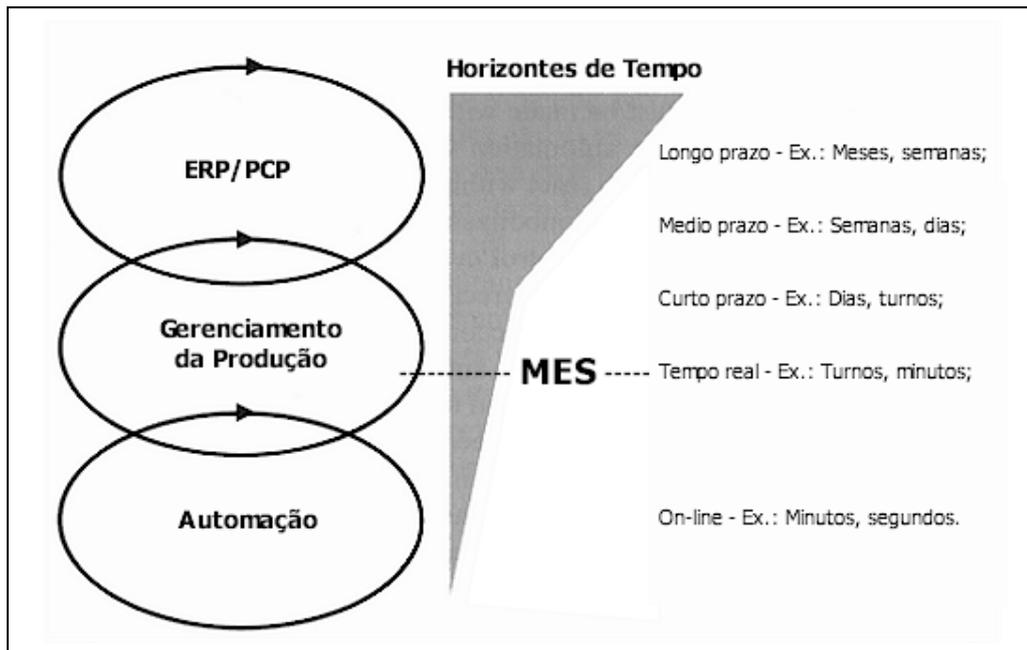


Figura 2.18 - Influência dos sistemas MES em diferentes níveis e horizontes de tempo -
 Fonte: Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution System – MES – (Adaptado).

Na prática, a produção do tipo discreta em relação a seus processos oferece - para as ordens de produção - um maior grau de liberdade. Isso acontece porque a produção discreta é favorável a tempos de trocas mais longos, tempos de espera e seqüências de ordens não tão eficientes. Nesse ponto, um sistema MES pode cobrir parte das funcionalidades de um APS e colaborar - com velocidade - no planejamento de produção de curto prazo, para evitar erros.

A situação é um pouco diferente para a produção em massa ou produção em linha de montagem. Aqui a diferença entre o planejamento agregado e o planejamento detalhado é menor do que na produção do tipo discreta. Kletti (2007) afirma que ordens de longa duração e tempos de *setup* longos excluem reações de curto prazo e, desta forma, como consequência, criam a oportunidade de trabalhar com programações de produção de médio prazo. A maior parte das atividades de curto prazo são manipuladas no nível de automação, isso significa nas máquinas, dispositivos e sistemas de controle do chão-de-fábrica, dessa forma, reduzindo as tarefas de planejamento.

Para a produção do tipo “*make-to-order*” (fazer para pedido), Kletti (2007) entende que são empregadas grandes listas de materiais e as ordens de produção são de longa duração. Neste caso, planejamentos detalhados de curto prazo são executados apenas para áreas (ou células) de produção caracterizadas como “*make-to-stock*” (fazer para estoque) para produzir e antecipar lotes que pertençam à grande lista. Kletti (2007) ainda destaca que a maior parcela de automação é encontrada nessas áreas ou células de produção, com exceção de centros de usinagem complexos onde as atividades são individualizadas para peças especiais. Aqui, o sistema MES fica restrito à condução de pequenos lotes de peças e registro de tempo de produção desses tempos, assim como no registro de tempo de projetos, no caso de operações de construção - ETO (*Engineering to Order*).

Fica claro que as funcionalidades e implementações dos sistemas MES, assim como os diferentes níveis de capacidade, variam de acordo com os diferentes tipos de produção. O esquema apresentado na Figura 2.19 procura ilustrar a extensão das funcionalidades dos sistemas MES, assim como das funcionalidades dos sistemas ERP e da automação, para os diferentes tipos de manufatura.

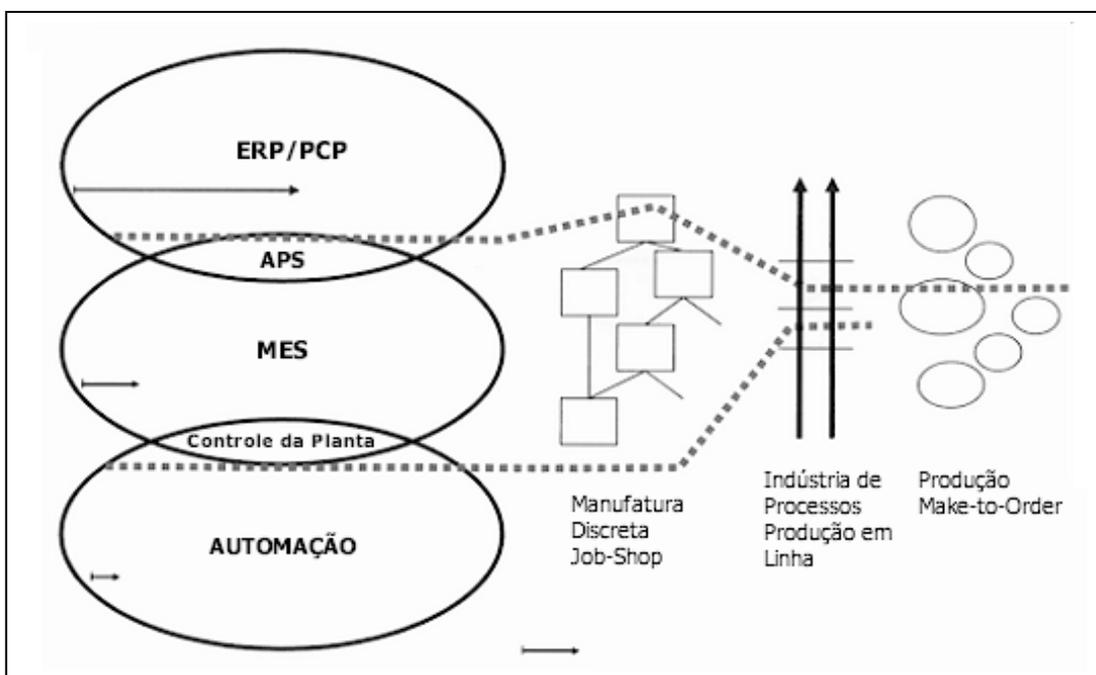


Figura 2.19 - Funcionalidades dos sistemas MES para diferentes tipos de manufatura -

Fonte: Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution System – MES (Adaptado).

Nota-se que o MES pode ser usado como um “*link*” (elo) de integração vertical entre a gerência corporativa e a produção. No ambiente de TI, o MES consagra-se como uma importante ferramenta de coleta e informação de dados para a organização da empresa como um todo e, principalmente, como já mencionado, para as áreas de produção, recursos-humanos e qualidade. Kletti (2007) também destaca o MES como um integrador horizontal, através do qual, incorpora as funcionalidades do gerenciamento da produção com eficiência. A Figura 2.20 traz uma idéia da integração vertical e horizontal que os sistemas MES podem proporcionar atenuando as irregularidades de integração entre a gerência corporativa e gerência da produção.

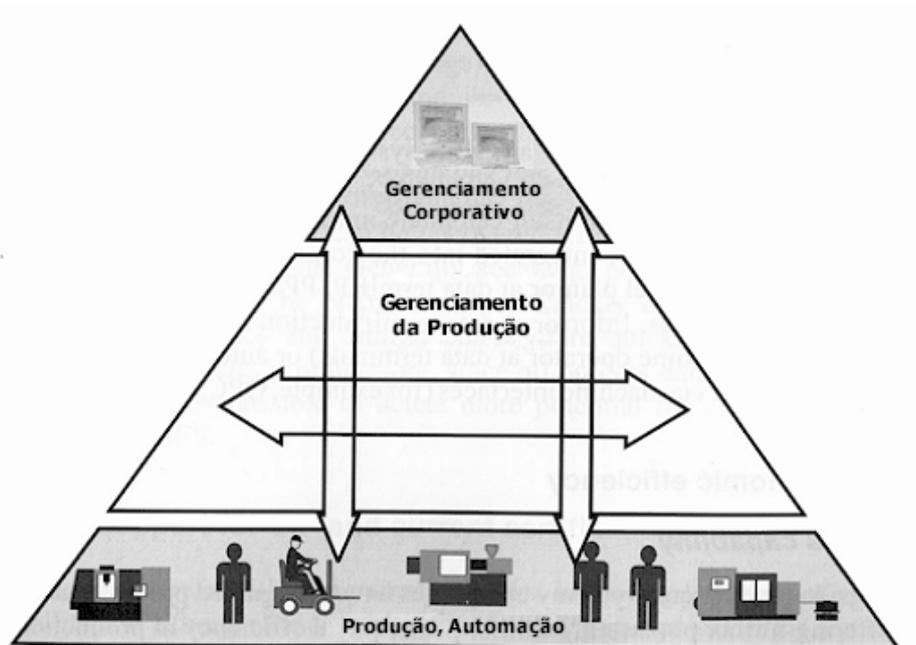


Figura 2.20– Sistemas MES – Integração Vertical e Horizontal - Fonte: Kletti, Jürgen (2007) - Manufacturing Execution System - MES.

De tudo, concluiu-se que o uso dos sistemas MES depende mais da estrutura de produção (*shop*, segmentada, linha/fluxo etc.) e do tipo de produção (não repetitiva, produto único, pequenas séries, produção em quantidade, produção em massa) do que do tamanho da empresa ou, em particular, do tipo de indústria. Kletti (2007) ressalta que, enquanto o principal motivo para o uso de um sistema MES no caso de produção “*shop*” de múltiplos estágios (torneamento, fresagem, galvanização etc.) é o de melhorar a interação entre as

etapas dos processos individuais e, dessa forma, o curso de uma ordem de produção; na produção em massa, a ênfase está em aumentar a taxa de utilização das linhas de produção. Devido a sua estrutura modular, os sistemas MES podem ser facilmente adaptados a ambientes de produção específicos.

Dentro do contexto de planejamento para implementação de um sistema MES, Kletti (2007) ressaltava pontos importantes: o primeiro ponto - como medida inicial - é identificar qual a estrutura e tipo de produção; o segundo ponto - como parte do processo de implementação - é descobrir como o planejamento e controle da produção estão atualmente sendo realizados e como podem ser melhorados com as funcionalidades do sistema MES. Outro ponto importante destacado - quanto às condições técnicas - é a necessidade de uma rede LAN (*Local Area Network*) com interfaces padronizadas, com a qual o nível de gerência, a gerência de produção e a produção (chão-de-fábrica) possam se comunicar. Também é ressaltado o processo de capacidade, com destaque para a qualidade do produto como um diferencial na eficiência operacional. Quanto à eficiência econômica, o ponto é identificar os objetivos - com foco no processo de produção - que proporcionarão ganhos ou redução de custos, a exemplo da redução de *lead-time*, aumento na taxa de utilização de máquinas, melhorias na confiança de entrega, redução de estoques WIP, ou redução de custos de falhas.

2.1.4 Principais “*players*” do mercado de MES

A pesquisa identificou uma enorme quantidade de “*players*” - empresas provedoras de soluções - que participam do mercado e oferecem soluções MES ou outras soluções que complementam ou se relacionam com as atividades de sistemas de execução de manufatura. Porém, a entidade que melhor retrata esse universo - a nível mundial - é a MESA - Manufacturing Enterprise Solutions Association. A MESA traz uma relação detalhada de seus associados na categoria “*solution provider*” (fornecedor de solução) e nada se compara a essa relação. A pesquisa também considera que os associados da MESA são os principais fornecedores do mercado mundial de MES e que também, muitas vezes, estão associados a outras entidades como a ISA, ARC Advisory Group, NAMUR, VDI, entre várias. A Tabela 2.4 traz a qualificação sintetizada de alguns “*players*” do mercado mundial de MES, os quais estão mencionados no *website* da MESA - em www.mesa.org - no link “*members*”, na

categoria “*solution provider*”. Também no link “*members*” encontram-se outras categorias como “*Manufacturer/Producer*”, “*Analyst*”, “*Non-Profit/Educational*” e “*Student*”.

Tabela 2.4 - Principais “*players*” do mercado mundial de MES

(Associados *Solution Provider* da MESA International)

Empresa	Matriz e Regionais	Especialidades	Website
Activplant Corporation	Canadá, EUA.	BI (<i>Business Intelligence</i>) Activplant para operações de manufatura; Microsoft Gold Certified Partner.	www.activplant.com
Alta Via	EUA, Alemanha, França e Colômbia.	ERP (SAP); controladoria e BPM (Oracle); BI (Jedox).	www.altavia.com
Apriso Corporation	EUA, França, China, Japão, Brasil, Itália, México, Polônia e Cingapura.	MES/MOM FlexNet; manufatura adaptativa; ERP; produção <i>lean</i> ; PLM; conformidade regulatória.	www.apriso.com
Aspen Technology Inc.	EUA, México, Canadá, Argentina, Brasil Venezuela, China, Japão, Coreia, Malásia, Austrália, Índia,	Production Management & Execution Aspen InfoPlus.21 (MES); processos de engenharia; sistemas de fornecimento e distribuição; controle de processos avançados; planejamento e	www.aspentech.com

	Tailândia, Cingapura.	programação da produção.	
ATOS Origin	França, Andorra, Argentina, Áustria, Bélgica, Brasil, Canadá, Chile, China, França, Alemanha, Grécia, Hong Kong, Índia, Indonésia, Japão, Luxemburgo, Malásia, México, Marrocos, Holanda, Peru, Polônia, Portugal, Cingapura, África do Sul, Espanha, Suécia, Suíça, Taiwan, Turquia, Inglaterra, EUA.	Provedor de serviços de TI; ERP (SAP, Oracle e Siebel); consultoria; integração de sistemas; BPO (<i>Business Process Outsourcing</i>); CRM (<i>Customer Relationship Management</i>).	www.atosorigin.com
ATS International B.V.	Reino Unido, EUA, Áustria, Austrália, Bélgica, Canadá, República Tcheca, Alemanha, México, África do Sul, Espanha,	MES; tecnologias de controle; SCADA/HMI; linguagens de programação; redes e comunicação; base de dados; <i>Lean</i> , Seis Sigma e qualidade.	www.ats-global.com

	Holanda, Turquia.		
Avid Solutions	EUA	Sistemas de controle de processos contínuos; sistemas de automação; controle <i>batch</i> S-88; PLC - <i>Programmable Logic Controller</i> (Controlador Lógico Programável); DCS - <i>Distributed Control System</i> (Sistema de Controle Distribuído); softwares Wonderware, Rockwell, Cimplicity, ProcessSuite, FactoryLink, Genesis, Citect, PI Historian, Microsoft Visual Basic e outros.	www. avidsolutionsinc.com
bfa solutions ltd	Suíça	MES PiSolutions; consultoria e engenharia focada em ambientes industriais; soluções de TI para automação de processos; coleta de dados de chão-de-fábrica para interface com sistemas MES e ERP.	www.bfa.ch
Brock Solutions	Canadá, EUA.	MES; serviços; sistemas de automação e controle; consultoria; software de automação; fabricação de painéis; gerenciamento de	www. brocksolutions.com

		projetos; suporte e manutenção.	
Camstar Systems, Inc.	EUA	Suite Camstar (<i>Enterprise Platform, Quality, Manufacturing, Intelligence, Interoperability</i>); EMS - <i>Enterprise Manufacturing Software</i> ; soluções para sistemas de qualidade.	www.camstar.com
Collaboration Synergies Inc.	EUA	MES; manufatura colaborativa; PLM; SCM (<i>Supply Chain Management</i>).	www.cosyninc.com
CORDYS	Holanda, EUA, Canada, Alemanha, Reino Unido, Suécia, Israel, África do Sul, Índia, Hong Kong, China, Coreia, União dos Principados Árabes, Indonésia.	Cordys Business Operations Platform; BPM (<i>Business Process Management</i>); automação de processos de negócios.	www.cordys.com
DAI Ltd	Reino Unido, Suíça.	MES; logística de materiais (<i>warehousing</i>); coleta de dados de chão-de-fábrica; gerenciamento de fluxo; gestão de ativos; OEE	www.dai.co.uk

		(<i>Overall Equipment Effectiveness</i>); SCADA; integração de sistemas; ERP; SCM; logística e transporte.	
Deacom, Inc.	EUA	ERP para processos de manufatura; controladoria; integração de sistemas.	www.deacom.net
Elan Software Systems (Empresa GE)	França, EUA.	MES (<i>XFP MES Software for Life Sciences</i>); gerenciamento de processos (<i>OPM Process Management for Life Sciences</i>); conformidade e integração (<i>XFP Core</i>).	www.elansoftware.com
Emerson Process Management	EUA, Canadá, possui centenas de escritórios em todo o mundo, divididos por áreas geográficas da seguinte forma: Ásia-Pacífico, Europa, Oriente Médio, África e América Latina - que inclui México, Brasil, Argentina, Chile e a maioria dos países.	Instrumentos de medição e analíticos (pressão, temperatura, fluxo, nível); elementos de controle (válvulas, reguladores); sistemas, controladores e softwares (gerenciamento de processos, instrumentação de segurança, automação e gerenciamento de processos, gerenciamento de operações, gerenciamento de ativos, manutenção e confiabilidade); serviços.	www.emersonprocess.com

eROY	EUA	Relacionamento <i>on-line</i> (eROI Software Platform).	www.eroi.com
eSolutions Group Limited	Canada	Gerenciamento de dados; comunicação; comunidades e mercados <i>on-line</i> .	www.esolutionsgroup.ca
Freudenberg IT LP	Alemanha, EUA.	MES (Adicom Software Suite).	www.adicom.com
GE Fanuc Intelligent Platforms	EUA, com centenas de representantes e distribuidores em todo o mundo: Canadá, América Central, América do Sul (inclui o Brasil), Caribe, Europa, Oriente Médio, África, Ásia-Pacífico, Oceania.	MES (Suite Proficy); <i>Workflow</i> (Proficy Workflow) para gerenciamento de processos de produção com o uso de BPM (<i>Business Process Management</i>); SOA (<i>Service Oriented Architecture</i>); integração com ERP; sistemas HMI; processos <i>lean</i> .	www.ge-ip.com
Geometric Limited	Índia, Alemanha, EUA, França, Romênia, Japão, Cingapura, China.	MES/MOM; PLM; ERP; serviços de engenharia; manufatura digital; parceiro Dassault Systèmes, Oracle, PTC, SAP e Siemens PLM Software; serviços de desenvolvimento de produtos	www.geometricglobal.com

		e manufatura.	
IBS America	EUA	Conformidade regulatória; gerenciamento da qualidade; controle de processos; integração com ERP; gerenciamento de garantia; gerenciamento de materiais (<i>incoming goods/outgoing goods control</i>).	www.ibs-us.com
InQu Informatics GmbH	Alemanha	MES (InQu.MES); APS; gerenciamento de qualidade; gerenciamento de fluxo.	www.inqu.de
Intercim	EUA, França, Austrália, Brasil.	MES/MOM (Pertinence Suite powered by Velocity); PLM; ERP; colaboração; definição de processos; gerenciamento da qualidade; parceiro de negócios Dassault Systèmes, SAP, Microsoft, entre outros.	www.intercim.com
Invensys Operations Management	EUA, Argentina, Asia-Pacífico, Austrália, Áustria, Belorússia, Bélgica, Brasil, China, Dinamarca, Estônia,	MES (Suite Wonderware); gestão de batelada (<i>batch</i>); historiador de dados; EIA (<i>Enterprise Integration Applicaton</i>) integração do chão de fábrica com ERP, PLM, SCM e LIMS; soluções EMI (<i>Enterprise Manufacturing Intelligence</i>);	global. wonderware.com

	Finlândia, França, Alemanha, Hong Kong, Hungria, Irlanda, Itália, Japão, Casaquistão, Coreia, Látvia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, México, Noruega, Rússia, África, Espanha, Suécia, Suíça, Taiwan, Holanda.	HMI/SCADA; gerenciamento de qualidade do produto.	
Ipesoft	Eslováquia	MES; indicadores de desempenho de produção KPI (<i>Key Performance Indicator</i>); informações de manufatura em tempo real; integração com ERP.	www.ipesoft.sk
Lighthouse Systems	Reino Unido, EUA, Cingapura, Austrália	MES, gerenciamento de tempo de paradas (<i>downtime</i>), OEE, qualidade, controle de processos, rastreabilidade.	www.lighthousesystems.com
Logica	Holanda, possui dezenas de escritórios na Europa (inclui	MES; LIMS; APS; PLM; SCM; gerenciamento de aplicações; BI; ECM (<i>Enterprise Content</i>	www.logica.com

	Reino Unido, Rússia, França, Alemanha), nas Américas (Brasil, Canadá, EUA), na Ásia-Pacífico (China, Hong-Kong, Austrália, entre outros), Oriente Médio e África.	<i>Management</i>); ERP; serviços e sistemas de manufatura Microsoft, Oracle e SAP.	
Maverick Technologies	EUA, Holanda Alemanha, Rússia, e dezenas de escritórios no mundo que inclui: África, Oriente Médio, Ásia e Austrália.	MES; gerenciamento e análise de dados; EAI, (<i>Enterprise Application Integration</i>); gerenciamento de ativos; EMI (<i>Enterprise Manufacturing Intelligence</i>); consultoria; serviços; integração de sistemas; automação de processos; rede e comunicação.	www.mavtechglobal.com
Meridium	EUA, Emirados Árabes Unidos, Austrália, Alemanha, Tailândia, África do Sul, Canadá, Brasil, Índia, China.	Soluções para gerenciamento de desempenho; gerenciamento de ativos; parceiro de negócios SAP.	www.meridium.com

MES Africa	África do Sul, Ilha Sacalina.	MES; LIMS; integração com sistemas SAP e Baan; historiador de dados; programação da produção; modelos de planejamento; gerenciamento de operações; monitoramento de processos; gerenciamento de ativos.	www. mesafrica.co.za
Microsoft Corporation	EUA, escritórios, parceiros de negócios, distribuidores e revendedores no mundo inteiro.	ERP para área de manufatura (Suíte Microsoft Dynamics); sistemas operacionais; banco de dados; linguagens de programação; interfaces e padrões de comunicação.	www.microsoft.com
Miracom Inc.	Coreia do Sul	MES/MOS; ERP; PLM; integração de sistemas; automação de fábrica; gerenciamento de ativos; gerenciamento de qualidade; EAI; BPM.	www.miracom.co.kr
MPDV Mikrolab GmBH	Alemanha	MES (Suíte HYDRA); integração com PCP (Planejamento e Controle da Produção) e ERP.	www.mpdv.de
Ordina Technical Automation	Holanda	MES; consultoria; serviços; arquitetura de sistemas; CLP/SCADA; gerenciamento	www.task24.nl

		de projetos.	
Osaka Systems Planning Inc.	Japão	Engenharia de processos; sistemas de engenharia; gerenciamento de projetos; parceiro de negócios Siemens.	www.osakasys.com
OSIsoft, Inc.	EUA, Austrália, Reino de Bahrain, Brasil, Cabadá, China, República Tcheca, Alemanha, Japão, México, Nova Zelândia, Cingapura, África do Sul.	Gerenciamento de dados e eventos em tempo real (Suíte PI System); mantém alianças estratégicas com Microsoft, SAP, Cisco, IBM e Accenture.	www.osisoft.com
PlantVision AB	Suécia	LIMS; gerenciamento de laboratórios; integração de soluções; BI; gerenciamento da produção; automação industrial; validação e garantia de qualidade.	www.plantvision.se
Prediktor	Noruega, China, Taiwan, Alemanha, Cingapura.	MES (Suíte APIS); coleta de dados; análise; consultoria; serviços.	www.prediktor.no
Pricewater-	EUA, dezenas de	Gerenciamento de crise;	www.pwc.com

house Coopers Pvt Ltd	escritórios em todo o mundo incluindo o Brasil.	serviços regulatório; auditoria; melhoria de desempenho.	
PRODAC Systems	Israel, Canadá.	MES; EMI (<i>Enterprise Manufacturing Intelligence</i>); planejamento de inventário; integração com ERP.	www. prodacsystems.com
Rockwell Automation	EUA, dezenas de escritórios em todo o mundo. Inclui o Brasil, Argentina, Colômbia, México, Chile, Canadá, Portugal, Espanha, França, Reino Unido, Alemanha, Itália, África do Sul, e países de vários continentes.	Inspeção; monitoramento; controladores e leitores; sistemas de conexão; monitores e computadores industriais; dispositivos I/O (<i>Input/Output</i>); chaves; controladores de voltagem; controladores de movimento; centros de controle; redes e comunicação; energia; CLP; relés e <i>timers</i> (temporizadores); segurança, travas, sensores; softwares.	www. rockwellautomation .com
SAP AG Global Marketing, Inc.	Alemanha, EUA, com dezenas de escritórios no mundo nas seguintes localizações geográficas:	ERP (Suite mySAP); PLM; SCM; CRM; BI, SRM (<i>Supplier Relationship Management</i>).	www.sap.com

	Américas (que inclui o Brasil, Argentina, Chile, México, Canadá), Europa, África, Oriente-Médio, Ásia-Pacífico.		
Schneider Electric	França, e dezenas de escritórios em todo o mundo. Inclui o EUA, Canadá, México, Brasil, Argentina, Chile, Reino Unido, China, Japão, Grécia, Hungria, Índia, Arábia Saudita, Síria, Turquia, Zâmbia, e países em todos os continentes.	MES (Suíte Ampla), automação e controle; elétrica; sistemas de instalação; serviços; treinamento.	www.schneider-electric.com
Siemens	Alemanha, EUA, e dezenas de filiais e escritórios em todo o mundo. Inclui o Canadá, México, Brasil, Argentina, Chile, Portugal, Reino	MES (Suíte SIMATIC IT); PLM; motores e <i>drives</i> ; automação, tecnologias de construção; mobilidade; iluminação; soluções para manufatura; serviços e soluções de TI; redes e comunicação.	mes-simaticit.siemens.com

	Unido, Espanha, França, Itália, Austrália, África do Sul, Zâmbia e países em todos os continentes.		
STICORP	Canadá, EUA, Brasil, Reino Unido.	MES (Suíte STI MES); provedor de soluções GE/Fanuc; sistemas de controle; historiador de processos; integração com ERP; portais de integração; desenvolvimento de aplicativos.	sticorp.ca
Tempo Resources	EUA	Planejamento de vendas para a indústria; desenvolvimento de processos; serviços e treinamento; consultoria; abordagem <i>lean</i> ; melhores práticas.	www.temporesources.com
UNIS,a.s.	República Tcheca	MES (Suíte PHARIS); EMI (<i>Enterprise Manufacturing Intelligence</i>); gerenciamento de produção; gerenciamento de qualidade; segurança; documentação de produção; integração com ERP, CRM e outros sistemas.	www.unis.cz

VENT Ltd.	Rússia	MES; integração LIMS-MES; genealogia; rastreabilidade; aplicações SCADA; planejamento e projeto de sistemas de automação; programação PLC; base de dados e desenvolvimento.	www.wwvent.ru
Werum Software & Systems	Alemanha	Gerenciamento de produção; dados <i>batch</i> ; programação finita; gerenciamento de equipamentos; controle de qualidade.	www.werum.com
WERUSYS GmbH & Co. KG	Alemanha	Infra-estrutura de TI; redes de chão-de-fábrica; comunicação.	www.industrial-intelligence.de
Wipro Technologies	Índia, Oriente Médio, Japão, França, Alemanha.	Tecnologia de negócios para indústria; serviços; infra-estrutura; engenharia de produtos; integração de sistemas.	www.wipro.com
Yokogawa Electric Corporation	Japão, China, Coreia, Taiwan, Canadá, México, EUA, Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Peru, Índia, Oriente Médio, África do	Gerenciamento de operações; gerenciamento de recursos; soluções digitais <i>field</i> ; sistemas de controle de produção; sistemas de segurança; CLP/SCADA; sistemas de aquisição de	www.yokogawa.com

	Sul, Rússia, Portugal, Espanha, França, Itália, Reino Unido, Alemanha e mais oito países da Europa.	dados; serviços.	
--	---	------------------	--

Fonte: MESA (www.mesa.org).

A pesquisa também identificou alguns “*players*” nacionais - empresas brasileiras fornecedoras de soluções - que participam do mercado de sistemas MES ou outras soluções relacionadas. A Tabela 2.5 traz uma relação sintetizada de alguns “*players*” do mercado brasileiro de MES.

Tabela 2.5- Principais “*players*” do mercado brasileiro de MES

Empresa	Matriz e Regionais	Especialidades	Website
Tecplus	Campinas	MES; processos de bateladas, contínuos e discretos; painéis elétricos.	www.techplus.com.br
MAXMES	Rio de Janeiro	MES; integração de chão-de-fábrica e sistemas ERP; produção e estoque; manutenção; qualidade.	www.maxmes.com.br

Active	Santo André, Naucalpan de Juarez – México.	MES; WMS; APS; soluções customizadas de TI; validação de sistemas; integração com ERP e SCM.	www.active-sa.com
Sequor	Canoas	MES; sistemas para automação industrial; desenvolvimento de software; engenharia; consultoria.	www.sequor.com.br
HSI Sistemas Industriais	São Bernardo do Campo	MES; PIMS; OEE/RPM (<i>Real-time Performance Management</i>); automação; sistemas; consultoria.	www.hsinet.com.br
Numericon	Gravataí, São Paulo.	MES; software e equipamentos para coleta de dados de chão-de-fábrica; DNC (<i>Distributed Numerical Control</i>).	www.numericon.com.br
Yukon Automação e Sistemas	Rio de Janeiro	MES; implantação e serviços; automação industrial e controle; projetos elétricos e de instrumentação; otimização de processos; monitoração; manutenção de sistemas; treinamento e assistência técnica.	www.yukonnet.com.br
Exata Sistemas	São Paulo	Comunicação para automação (Suíte Kepware); soluções de	www.exatasistemas

de Automação		energia (Cooper Power Systems/Cybectec); conectividade com equipamentos de chão-de-fábrica (KepServerEx); sistemas inteligentes e SCADA para subestações; consultoria e treinamento.	.com.br
Accenture/Atan	Nova Lima	MES; sistemas de automação industrial; integração com ERP; BI; consultoria; parceiro de negócios SAP, Oracle e Microsoft.	www.accenture.com
IHM Engenharia	Belo Horizonte	MES; gerenciamento da qualidade; integração com ERP; programação PLC; redes e comunicação; automação; projetos elétricos; projeto mecânico; projeto civil.	www.ihm.com.br
Órion Automação	Campinas	MES (Suíte numerA); integração com ERP; sistemas <i>batch</i> ; automação; instrumentação; elétrica; gestão de projetos.	www.orion.com.br
Z/Soft Automação	Indaiatuba, Manaus	Engenharia elétrica e instrumentação; programação CLP; customização de	www.zsoft.com.br

		sistemas supervisórios; integração de chão-de-fábrica e sistemas ERP; treinamento; suporte.	
Contraste Engenharia e Automação	Rio de Janeiro	TI industrial; automação industrial; consultoria e integração.	www. contraste.com.br
Directa Automação	Florianópolis	MES; sistemas de gestão integrada; produção (controle de recursos produtivos, controle numérico distribuído, controle das manutenções; qualidade (CEP, gerenciamento, rastreadabilidade, sistemas de medição); depósito (controle de depósito e expedição)); desenvolvimento; integração com ERP.	www. directaautomacao .com.br
AGI Automação e Gerenciamento Industrial	São Paulo	MES; controle e supervisão de processos; CLP; sistema de coleta de dados; sistema de visualização de cargas e dados de produção; parceira estratégica Rockwell Automation.	www. agiautomacao. com.br
Cimtec Engenharia e	Belo Horizonte	Sistemas de automação; servidores e estações de	www. cimtec.com.br

Sistemas		operação; instrumentação CLP; energia e climatização; materiais e equipamentos de montagem.	
Projeto Otimiza	São Paulo	MES; gestão industrial; manufatura enxuta; PCP; APS; ISA-95; ISA-88; ISA- 99 (segurança eletrônica); liderança; protocolos de comunicação; redes industriais; controle e automação; treinamento e consultoria.	www. projetootimiza .com.br
Vision Sistemas Industriais	Belo Horizonte	PIMS; controle e supervisão; elétrica; instrumentação; otimização de processos; redes e comunicação; principais parceiros de negócios: ABB, GE, Murrelektronik, OSIsoft, Rockwell Automation, Schneider Electric, Siemens.	www. visionsistemas .com.br
Forprint Informática	São Paulo, Rio de Janeiro	Gerenciamento da produção (Suíte Corporator); estrutura de produtos e roteiro de produção; cadastro de máquinas e equipamentos; geração de ordens; geração de requisição de compras; plano	www. forprint.com.br

		mestre de produção; MRP/MRP II; controle de carga; análise de rendimento; integração com MES.	
Vipsoft Sistemas	São Paulo	Gerenciamento da Produção; ciclo operacional; estrutura de produtos; ordens de produção; integração com MES.	www.vipsoft.com.br
ABC71	São Paulo	MES; ERP (Suíte ERP Omega - Gestão Industrial, Qualidade, Gestão Administrativa, Comercial, Gestão de Materiais); MRP II; controle de produção; S&OP - planejamento de vendas e operações; APS; beneficiamento.	www.abc71.com.br
CaptorR	São Paulo	MES (Suíte CaptorR); gestão integrada da fábrica; <i>lean manufacturing</i> ; Acompanhamento de ordens e planos de fabricação; monitoramento e acompanhamento em tempo real; controle de materiais e rastreabilidade; coleta de dados; almoxarifado de fabricação; gestão da qualidade; OEE; SCM;	www.captor3.com.br

		integração com ERP.	
Tecmaran	Vitória	Gerenciamento de sistemas de produção; programação da produção com capacidade finita (Suíte Preactor); planejamento e controle da produção (Suíte PCPTec); consultoria; implantação; treinamento; suporte.	www.preactor.com.br
Silicon	Belo Horizonte	MES (Suíte Simatec); controle e gerenciamento da produção; CEP; controle de paradas; manutenção preditiva e preventiva; integração com ERP; integração com CRM e SCM; soluções APS/MRP/MRPII.	www.solicon.com.br
Simatec Tecnologia de Automação	Belo Horizonte	Controladores programáveis CLP; interfaces homem-máquina HMI; redes de comunicação industrial; sistemas de supervisão de processos; comando numérico; capacitação; desenvolvimento; melhoria de processos; parceiro de negócios Rockwell Automation e Siemens.	www.simatec.com.br

IASTECH	São Paulo	MES; integração entre o chão de fábrica e sistemas corporativos; ISA-95; controle de batelada S-88; coleta de dados históricos; controle de lotes; ordem eletrônica de produção; relatórios de gestão; automação; consultoria e gerenciamento.	www.iastech.com
PPI-Multitask	São Paulo	MES (Suíte PC-Factory MES); coleta de dados; status de recursos; análise de desempenho; rastreabilidade; gerenciamento de alarme; controle de materiais; automação de processos de batelada; planejamento avançado da produção; OEE.	www.ppi-multitask.com.br
Eclipse Software	Porto Alegre, Curitiba, São Paulo, Belo Horizonte, Kaohsiung City - Taiwan.	Automação industrial; controle de processos; soluções HMI/SCADA; controle supervisão e sistemas de aquisição de dados (Suíte Elixir E3 e Suíte Elixir SCADA); suporte e treinamento.	www.eclipse.com.br
Aquarius	São Paulo	MES (Suíte Proficy/GE); integração com ERP; BI;	www.

Software		supervisão; automação; instrumentação; produtos, serviços e consultoria para processos contínuo, discreto e batelada; parceiro de negócios GE Intelligent Platforms e CSense.	aquarius.com.br
Axia Consulting	São Paulo	Melhoria da cadeia de valor; SCM; integração entre sistemas de fornecimento e demanda; planejamento de vendas e operações; melhoria do capital humano; gestão de projetos.	www.axiaconsulting.com.br

Fonte: Google (www.google.org).

A lista de fornecedores de soluções, produtos e serviços relacionados com os sistemas MES dá uma idéia do tamanho desse mercado. Deve-se levar em conta que essa lista é parcial e que a implementação ou atualização de um sistema MES, segundo Kletti (2007), requer planejamento, identificação de objetivos, processos sistemáticos, avaliação do retorno de investimentos ROI (*Return On Investment*), sintonia com todos os níveis hierárquicos da empresa e absorção de inovação. Portanto, a escolha de um fornecedor de soluções MES depende sempre dos objetivos e das variáveis de desempenho que envolve o produto e os processos de industrialização. Deve-se prestar especial atenção - no tocante ao MES - que, além do sistema auxiliar o planejamento e controle da produção, suas informações podem ser colaboradas proporcionando melhor “visibilidade” da fábrica, nos processos técnicos, operacionais, comerciais e de negócios. A capacidade - *capability* - de uso das informações da fábrica em tempo real, oferecidas pelos sistemas MES, levou as empresas de manufatura a um nível de colaboração com outras aplicações jamais presenciado anteriormente. Um exemplo,

que é pauta da pesquisa, é a integração de dados de sistemas MES com aplicações de manufatura digital do PLM.

Até aqui, o propósito do Capítulo 2 foi o de dar uma visão geral dos sistemas MES, apresentar um referencial de padrões, terminologia, normas (ISA-S88 e ISA-S95) e regras básicas da estrutura de um sistema de execução de manufatura, que incluem os itens produção, qualidade e recursos humanos, apresentar - com maiores detalhes - as entidades que mais apóiam as iniciativas MES (MESA International, ISA, ARC Advisory Group, NAMUR e VDI), oferecer um sumário de seus colaboradores e associados, dar uma idéia da abrangência dos sistemas MES expondo um panorama de integração vertical e horizontal, assim como identificar os principais “*players*” do mercado mundial, incluindo o Brasil.

2.2 VISÃO GERAL – SIMULAÇÃO E MANUFATURA DIGITAL DM (DIGITAL MANUFACTURING), PLM E INTEGRAÇÃO PLM/ERP

A seguir, o cenário da pesquisa muda do universo de execução de manufatura MES para o universo do ciclo de vida do produto PLM, onde são apresentados vários tópicos, entre eles uma visão geral da manufatura digital (fábrica virtual) no ambiente PLM (que na realidade representa ambientes virtuais de simulação), a conceituação do PLM propriamente dita, a relação das funções do PLM com os domínios de conhecimento do ERP, o cenário de colaboração de TI entre MES e PLM, a importância do gerenciamento das definições do produto cPDM (*collaborative Product Definition management*) para a colaboração da informação, além dos principais “*players*” do mercado mundial de PLM, incluindo os “*players*” de manufatura digital.

Como a manufatura digital atua nos processos de tomadas de decisão, se faz necessário compreender os ambientes de decisão em sistemas de produção industrial, assim como a importância da simulação em sistemas de manufatura. Chryssolouris *et al.* (2009) comentam que os desenvolvimentos recentes em manufatura digital podem ser categorizados em dois grupos abrangentes: o primeiro grupo tem seguido um desenvolvimento “*bottom-up*” (de baixo para cima) e considera a abrangência da manufatura digital na gestão industrial, a exemplo de uma abordagem que envolve toda a fábrica ou empresa; o segundo grupo tem

seguido um desenvolvimento “*top-down*” (de cima para baixo), que considera as tecnologias como suporte aos aspectos individuais da manufatura digital, em outras palavras, tratam assuntos isolados como simulação robótica, de ergonomia, entre outros. Chryssolouris *et al.* (2009) ainda esclarecem que, de acordo com a associação alemã VDI (Verein Deutscher Ingenieure), a fábrica digital inclui modelos, métodos e ferramentas para um suporte sustentável de planejamento e operações da fábrica, que inclui processos associados a modelos digitais de produtos.

Lee *et al.* (2010) acrescentam que quando o projeto do produto está definido, uma decisão deve ser tomada na planta de manufatura e o plano de produção deve incluir o planejamento de processos e recursos. Comentam ainda que a manufatura digital, como um conjunto de ferramentas integradas que auxiliam as análises necessárias dos recursos físicos, do projeto dos processos de manufatura, da visualização, da simulação e otimização de processos, pode ser considerada o principal meio de preparação dos processos de manufatura que influencia diretamente a eficiência da produção.

2.2.1 Ambientes de tomadas de decisão e a conceituação da simulação em sistemas de produção

Como visto, o principal objetivo de um sistema de produção é manufaturar e entregar produtos, cuja principal atividade, dentro desse objetivo, é encontrar o processo de manufatura adequado que releve prazos de entrega (*time-to-market*), custos e critérios de qualidade. Na forma de *trade-off*, existe uma interação entre prazo, custo e qualidade - na maioria dos sistemas de produção - e a decisão de ajustá-los (para perder ou ganhar em cada item do *trade-off*) está relacionada com a posição que a empresa deseja assumir no mercado em relação aos clientes e em relação aos concorrentes. Nesse sentido, Sipper e Bulfin (1997) citam que existem muitos elementos que influenciam esses três critérios e destacam os arranjos organizacionais e os arranjos físicos.

Outros fatores que influenciam diretamente essas organizações são as tecnologias empregadas para os processos de produção e o tamanho da organização. As organizações diferem em tamanho e metas, o que causa impactos diferentes nos sistemas de

produção, sejam eles nos processos físicos, nos processos de gerenciamento ou nas decisões de gerenciamento de produção. A maior diferença é notada no fluxo de informações e nos processos de tomadas de decisão.

Ainda, Sipper e Bulfin (1997) destacam que todo sistema de produção faz parte de um processo de tomada de decisões e alguns requisitos são necessários para entender esse ambiente de tomada de decisões. Os autores identificam três critérios que classificam as decisões em sistemas de produção: hierarquia organizacional, tempo (horizontes de planejamento) e tópicos. É claro que a natureza das decisões feitas pela alta gerência difere das decisões que são feitas pelos gerentes das linhas de produção. Tradicionalmente, em ambientes industriais, decisões estratégicas são tomadas pela alta gerência, decisões táticas são tomadas pela média gerência e decisões de operações são tomadas por gerentes operacionais. Uma decisão estratégica pode envolver expansão de capacidade que, por sua vez, gera decisões táticas para a escolha das tecnologias e equipamentos que aumentem essa capacidade. Como instalar os equipamentos, verificar restrições e interferências, faz parte de decisões operacionais.

Dessa forma, uma pergunta a fazer é: qual a relação da simulação digital com os sistemas de produção? A resposta é muito simples: todo sistema de produção faz parte de um processo de decisão – (SIPPER; BULFIN, 1997). Nesse sentido, é muito importante entender os conceitos das aplicações de sistemas de simulação digital - representada nesta pesquisa pela manufatura digital - em processos de produção para tomadas de decisões.

Quando se fala em decisão, a primeira idéia é a aplicação de pesquisa operacional. O universo de simulação digital para o planejamento de sistemas de produção é colocado conceitualmente de uma forma análoga, porém com características diferentes da pesquisa operacional. Na pesquisa operacional, a formulação do modelo depende diretamente do sistema a ser representado. A função objetivo e as funções de restrições podem ser lineares ou não-lineares. As variáveis de decisão podem ser contínuas ou discretas e os parâmetros podem ser determinísticos ou probabilísticos. O resultado dessa diversidade de representações de sistemas é o desenvolvimento de diversas técnicas de otimização, de modo a resolver cada tipo de modelo de produção existente. Estas técnicas incluem, principalmente: programação linear, programação inteira, programação dinâmica, programação estocástica (onde os parâmetros são descritos por funções de probabilidade) e programação não-linear - (LISBOA, 2002). Uma característica presente em quase todas as técnicas de programação matemática é

que a solução ótima do problema não pode ser obtida em um único passo, devendo ser obtida iterativamente. É escolhida uma solução inicial - que geralmente não é a solução ótima. Um algoritmo é especificado para determinar, a partir desta, uma nova solução, que geralmente é superior à anterior. Este passo é repetido até que a solução ótima seja alcançada - supondo que ela exista.

Já as decisões por sistemas de simulação digital envolvem uma base de conhecimento maior, englobam conceitos multidisciplinares, múltiplos objetivos e geralmente atendem os âmbitos estratégicos, táticos e operacionais - a exemplo do aumento ou redução de capacidade de produção, planejamento de processos e decisões de longo, médio e curto prazo; consideram valores tangíveis e intangíveis, por vezes extremamente difíceis de mensurar; abrangem vários tomadores de decisões, aspecto não fácil de lidar uma vez que envolve grupos de pessoas; e consideram ainda valores de *trade-offs*, onde as decisões são otimizadas dentro de cenários. Nas decisões por sistemas de simulação digital não existem soluções ótimas quando existem múltiplos objetivos e múltiplas disciplinas, existem soluções robustas. Por exemplo, quando estamos relevando os *trade-offs* custo e qualidade em uma situação, não tem sentido falar em solução ótima e sim decidir se estamos mais preocupados com o custo ou mais preocupados com a qualidade. Neste caso, deve-se colocar restrições ao problema e deixar bem claro a preferência em relação aos *trade-offs*. Uma solução ótima é aquela que é indiscutível, e isso não existe.

Os sistemas de simulação digital - compostos por hardware e software - caracterizam-se por procedimentos e ferramentas que apóiam o processo de tomada de decisão. Porto *et al.* (2006) comentam que a bibliografia sobre simulação apresenta diversas definições. Citam a definição de Gordon (1969) que define simulação de sistemas como uma técnica de resolução de problemas por meio de acompanhamento de mudanças ao longo do tempo; a definição de Pristsker (1994) que define simulação computacional como um processo de projeto de um modelo lógico-matemático de um sistema real e de experimentação; a definição de Banks (1998) que caracteriza a simulação como a imitação da operação de um processo ou sistema real ao longo do tempo, com o propósito de fazer inferências relativas às características do sistema real em estudo; e a definição de Freitas Filho (2001), que traz conceitos semelhantes e afirma que a simulação computacional de sistemas consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores

digitais, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo (sistema) do mundo real.

Ainda, Porto *et al.* (2006), com base nas definições apresentadas, destacam a importância dos termos “sistema”, “modelo” e “tempo” e definem a simulação como uma técnica de resolução de problemas, por meio da observação do comportamento de uma particular representação (modelo) de um sistema, em uma base de tempo. Também afirmam que, através da simulação, pode-se criar um modelo de um sistema real para avaliar o comportamento deste sistema sob várias condições, permitindo ao analista tirar conclusões sobre novos sistemas sem precisar construí-los ou fazer alterações em sistemas já existentes. Comentam que, com a técnica da simulação, o objetivo não é fazer nenhuma tentativa de isolar as relações entre variáveis do modelo e sim, com base em como todas as variáveis mudam no decorrer do tempo, compreender as relações envolvidas no sistema, para uma efetiva tomada de decisão.

Porto *et al.* (2006) relatam que a simulação digital requer mais do que conhecimentos de operação de software, tendo em vista que um estudo de simulação é, por natureza, um projeto maior. Para um projeto de simulação ter sucesso todas as tarefas envolvidas devem ser planejadas. O modelo a ser simulado exige habilidades de análise, considerações e conceitos de estatística, experiência em arranjos organizacionais e arranjos físicos, habilidades em uma série de disciplinas de engenharia e administração, assim como conceitos de análise de tomadas de decisão e interpretação dos dados do sistema.

Keeny, Ralph L. (1982) considera que os atuais ambientes de decisão são muito mais complexos do que antes. Consumidores, colaboradores, acionistas conscientes, governo e corporações estão muito mais exigentes e responsáveis. Keeny (1982) ainda afirma que vários fatores contribuem para a complexidade dos problemas de decisão: (1) múltiplos objetivos; (2) dificuldade de identificar boas alternativas; (3) intangibilidade; (4) horizontes de longo prazo; (5) impacto de grupos; (6) riscos e incertezas; (7) riscos de acidentes de trabalho; (8) interdisciplinaridade; (9) grupos de tomadores de decisões; (10) valores de *trade-offs*; (11) atitudes de risco; e (12) seqüência das decisões. Coletivamente, esses fatores descrevem muitos problemas complexos de decisões.

É essencial entender que as complexidades não podem ser evitadas nas tomadas de decisão, elas fazem parte do problema e não somente parte do processo de

solução. O fundamental é saber conduzi-las, o que significa uma importante tarefa para obter o equilíbrio entre todos os prós e contras, assim como reconhecer as incertezas para cada alternativa.

Os problemas de decisão em geral devem ser decompostos em partes, separadamente analisados e integrados, para a escolha das alternativas. Esse tipo de procedimento – de separar e depois integrar - é fundamental quando tratamos de problemas interdisciplinares, um caso típico de aplicação em simulação de sistemas de produção industrial. Keeny (1982) ainda diz que a metodologia de análise de decisões oferece uma estrutura que combina técnicas tradicionais de pesquisa operacional, administração e análise de sistemas com julgamentos profissionais e valores em uma análise unificada para suportar tomadas de decisões. De uma maneira geral, Keeny (1982) decompõe a metodologia de análise de decisões em quatro passos:

1. Estruturar o problema de decisão;
2. Avaliar os possíveis impactos de cada alternativa;
3. Determinar as preferências (valores) dos formadores de opinião;
4. Avaliar e comparar alternativas.

Como consequência dos problemas de decisão, Porto *et al.* (2006) afirmam que a idéia por trás do emprego de modelos e da simulação desses modelos implica na realização de um esforço computacional no qual um programa executa uma série de instruções, com o propósito de retratar um comportamento semelhante ao do sistema real. O problema está em saber qual ambiente de software oferece condições para retratar esses modelos, de acordo com o tipo de experimentação, para responder as questões formuladas na descrição do problema para exibir com fidelidade o comportamento do modelo. Nesse sentido a pesquisa retrata, entre os diversos produtos existentes no mercado, as características de duas suítes de software (programas de computador) focados em ambientes de simulação digital, mais especificamente denominados no mercado de sistemas de manufatura digital: a suíte Delmia da Dassault Systèmes e a suíte Tecnomatix da Siemens PLM Software. Ambas as suítes de software estão detalhadas no Capítulo 3 desta pesquisa.

2.2.2 Manufatura Digital DM (*Digital Manufacturing*)

Conhecida mundialmente como DM - *Digital Manufacturing*, a manufatura digital faz parte da abordagem PLM que integra as informações do ciclo de vida de produtos ao ambiente de negócios das corporações. A manufatura digital usa um ambiente virtual dinâmico de simulação com representação de modelos em duas dimensões (2D) e modelos em três dimensões (3D) - composto por hardware e software - e apresenta um conjunto de ferramentas que integram 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. Uma idéia de aplicação da manufatura digital é apresentada nos exemplos da Figura 2.21.



Figura 2.21 - Exemplos de aplicação da Manufatura Digital – Suíte de soluções Tecnomatix - Fonte: Siemens PLM Software (2006).

A manufatura digital, como integrante da abordagem PLM, apóia principalmente as áreas da engenharia de processos, desenvolvimento de produtos, cadeia de fornecedores e logística. Preocupa-se com a máxima eficiência dos recursos de produção e

utilização da fábrica, melhores práticas e otimização de investimentos. Proporciona menor tempo de liberação de produtos para o mercado (*time-to-market*), menor tempo de fabricação, menor tempo para se alcançar escala de produção e ainda estimula a inovação de produtos e de processos.

Grieves (2006) em sua obra “Product Lifecycle Management - Driving the Next Generation of Lean Thinking” 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 uma 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 *white paper* (artigo na forma de documento) intitulado “Digital Manufacturing: history, perpepectives, 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.

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, Fiat, tem 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.

O Capítulo 3, ainda dentro de um cenário de melhoria de produtividade, menores custos de produção e metas de qualidade, traz uma visão geral de como ambas as empresas - Dassault Systèmes e Siemens PLM Software - conceituam a manufatura digital,

simulação e PLM. O capítulo aponta as soluções Delmia e Tecnomatix como um conjunto abrangente de ferramentas interdisciplinares que afetam diretamente os processos de negócios das empresas de manufatura, influenciando e propiciando, de uma forma direta, a engenharia colaborativa e os processos de tomadas de decisão em ambientes PLM.

2.2.3 PLM - *Product Lifecycle Management* - Conceituação

Para um melhor entendimento do PLM, esta abordagem proporciona todo o processo de gerenciamento do ciclo de vida de um produto, desde sua concepção, atravessando as fases de projeto, manufatura, manutenção e descarte desse produto. O PLM integra pessoas, dados, processos e sistemas de negócios e oferece uma estrutura centralizada de informações do produto de forma colaborativa dentro do conceito de empresa estendida, ou seja, inclui a própria empresa, clientes, parceiros e fornecedores. Grieves (2006) afirma que a abordagem PLM é considerada como um dos marcos da estrutura da tecnologia de informação de uma corporação moderna e vem conquistando cada vez mais o nível executivo das empresas.

Wang e Nee (2009) conceituam o PLM - *Product Lifecycle Management* - 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 do PLM desempenham, de uma maneira básica, 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. Os autores 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. Essas ferramentas são usadas para armazenar, organizar e compartilhar dados relacionados ao produto, assim como coordenar as atividades de grupos de trabalho descentralizados em todos os estágios do ciclo de vida do produto, tais como projeto do produto, manufatura, fornecedores, serviços a clientes, reciclagem e outras atividades relacionadas.

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. Desta forma, apontam o PLM como um conjunto de ferramentas fundamental para competir em um mercado globalizado que exige maiores demandas, menores ciclos de vida de produtos e componentes, e ainda, que leva em consideração as necessidades de seus clientes. 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. Saaksvuori e Immonen (2010) ainda comentam que produtos complexos necessitam da colaboração de uma grande rede de especialistas, que envolve fornecedores e parceiros. Neste caso, o PLM pode ser considerado como a ferramenta de colaboração onde os dados e informações do produto podem ser transferidos entre as empresas de forma eletrônica, com um alto nível de segurança.

Outra definição de PLM pode ser obtida na obra “Product Lifecycle Management – 21st Century Paradigm for Product Realization” de John Stark (2005). Não muito diferente dos autores anteriores, Stark (2005) cita que o PLM é a atividade de gerenciamento dos produtos de uma empresa de manufatura e permite entregar produtos ao mercado de uma forma mais rápida e com menores custos. Também comenta sobre os ganhos oferecidos com a abordagem PLM. 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) 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%.

A CIMdata, uma empresa norte-americana independente de pesquisa e abordagem PLM, reconhecida mundialmente e líder em seu segmento, que trabalha com

organizações industriais e fornecedores de tecnologia e serviços promovendo assuntos que abordam vantagem competitiva no contexto da economia global, experiência e melhores práticas, segmenta o mercado de PLM em três sub-setores principais:

1. Ferramentas cPDm - *collaborative Product Definition management* - para o gerenciamento colaborativo da definição de um produto, que são soluções baseadas em aplicativos de software para capturar, gerenciar, distribuir, visualizar e colaborar as informações intelectuais relacionadas ao produto e respectivos processos. A solução cPDm oferece um repositório de dados único para uso comum entre todas as áreas funcionais da empresa, fornecedores, clientes e colaboradores;
2. Ferramentas PLM (CAE, CAD, MCAD - *Mechanical CAD*, CAM etc.) para criar ativos intelectuais através de autoria, análise, modelagem, simulação e documentação de produtos, informações de planta e instalações;
3. Sistemas de manufatura digital DM (*Digital Manufacturing*) para planejamento de processos e operações de manufatura, definição de recursos, arranjo físico de chão-de-fábrica, simulação e análise do fluxo de produtos, incluindo ergonomia.

O PLM pode ser considerado como um novo modelo de produtividade e, segundo Grieves (2006), é a consequência do pensamento “*Lean*” que se estende a uma nova geração da manufatura enxuta. Grieves (2006) ainda complementa que o PLM elimina o desperdício e maximiza a eficiência em todos os aspectos da vida do produto - desde o projeto até a distribuição - não apenas na manufatura. Por usar pessoas, informações do produto, processos e tecnologia, reduz o desperdício de tempo, energia e material nas organizações e nas cadeias de suprimentos.

Grieves (2006), também em sua obra, relata que a abordagem PLM surgiu 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. Assim como o ERP, o PLM manifestou-se como um forte apelo de conceitos e tecnologias que perduram até os dias de hoje. Entre esses conceitos e tecnologias do PLM, destacam-se: o CAD - *Computer Aided Design*, fortemente utilizado nas áreas de projeto e desenvolvimento de

produtos, em conjunto com o CAE - *Computer Aided Engineering* para, por exemplo, analisar, simular, planejar, diagnosticar e reparar peças, partes ou produtos como um todo; o EDM - *Engineering Data Management* e o PDM - *Product Data Management*, que gerenciam e compartilham, de uma forma estruturada, características de engenharia e dados de produtos; e o CIM - *Computer Integrated Manufacturing*, que nasceu na década de 80, tradicional por integrar processos de manufatura com o uso do computador. Cada conjunto de ferramentas, calcado nas informações do produto, complementa a idéia do gerenciamento de seu ciclo de vida, desde sua concepção (projeto) até a retirada ou substituição desse produto do mercado (descarte). A Figura 2.22 representa o modelo PLM citado na obra de Grieves (2006) que, em seu centro, contém o núcleo dos dados e informações do produto em todo o seu ciclo de vida.

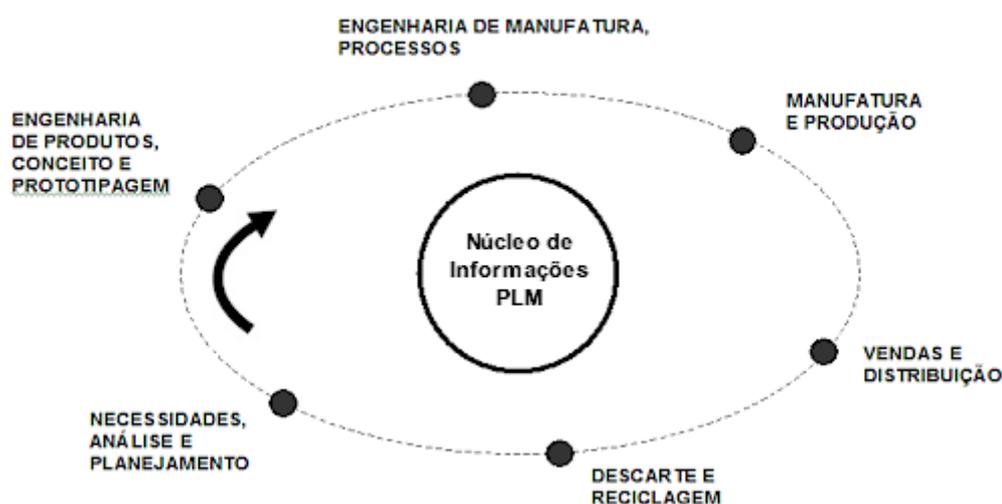


Figura 2.22 - Modelo do Ciclo de Vida do Produto PLM - Fonte: Adaptado de Grieves (2006).

Pode-se notar a presença da abordagem PLM nas áreas de projeto de produtos e manufatura (CAD/CAM), assim como a disponibilidade das informações do produto para outras áreas funcionais como a administração da produção, cadeia de suprimentos e marketing. Esse procedimento de compartilhar as definições do produto através de sua trajetória é chamado de “colaboração” da informação. Um exemplo clássico é a utilização das listas de materiais BOM (*Bill of Materials*) de engenharia, provenientes de sistemas CAD, pelos sistemas de gestão ERP/MRPII/JIT (*Just in Time*). Outro exemplo é a utilização dos

dados reais de chão-de-fábrica, coletados pelos sistemas MES e utilizados em simulações virtuais de fábricas, como citado nesta pesquisa. Vale ressaltar que, hoje, PLM e ERP não competem e sim se complementam de uma forma integrada e sincronizada, cujo objetivo, através da informação, é sustentar o gerenciamento efetivo do capital intelectual das corporações: o “conhecimento”.

2.2.4 PLM e Integração com ERP - *Enterprise Resource Planning*

Uma vez que o escopo dessa pesquisa é discutir a integração dos sistemas MES com sistemas de manufatura digital do PLM, como fica a integração do PLM com os sistemas ERP - que sempre conviveram juntos com os sistemas MES? Se uma empresa possui um sistema ERP ela precisa do PLM? Como é possível visualizar o PLM e ERP trabalhando juntos? Essas são as dúvidas mais frequentes quando da adoção de qualquer componente do PLM quando uma empresa já possui um sistema ERP. Grieves (2006) dá uma visão do uso da informação quando exibe o gráfico da Figura 2.23, onde relaciona as áreas funcionais de uma organização (projeto e desenvolvimento, engenharia, produção, vendas e serviços, descarte e reciclagem) com os respectivos domínios de conhecimento do ERP.

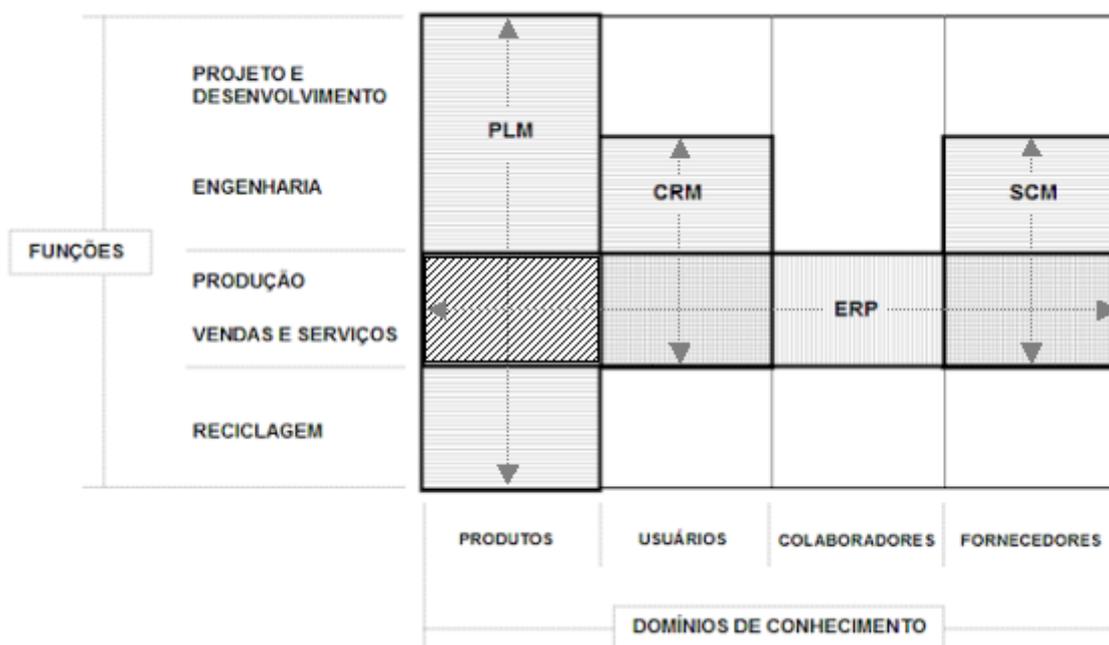


Figura 2.23 - Domínios de conhecimento do ERP e funções do PLM. Fonte: Grieves (2006) – (Adaptado).

Nota-se que PLM e ERP se complementam. A barra horizontal mostra que o ERP cruza vários domínios de conhecimento, relacionando-se com os produtos, usuários, colaboradores (funcionários e contratados) e fornecedores, porém, concentra-se apenas nas áreas funcionais de produção, vendas e serviços. O ERP, que é um sistema baseado em transações, foca a informação na movimentação das ordens de produção e preocupa-se com o resultado de produzir um produto ou serviço. Porém, a sobreposição horizontal do ERP e vertical do PLM definem as áreas de produção, vendas e serviços como uma região comum (concorrente) em relação ao uso da informação. Essa característica do ERP, a de cruzar vários domínios de conhecimento, também cria outras regiões comuns em relação ao uso da informação, que são: o CRM (*Customer Relations Management*), um conjunto de ferramentas de software que automatiza as funções de contato com o cliente e o SCM (*Supply Chain Management*), um sistema pelo qual organizações e empresas entregam seus produtos e serviços aos seus consumidores, numa rede de organizações interligadas (POIRIER e REITER, 1996).

Mais uma vez fica claro que a informação é o principal instrumento de uma economia em rede e globalizada, e que o uso adequado do conhecimento reduz investimentos, mão-de-obra, estoques e recursos de produção. Conforme a globalização aumenta, novos

competidores e complexidades aparecem e, nesse cenário, as exigências se intensificam rumo a uma produção mais fragmentada e adaptativa. A vantagem do compartilhamento da informação do produto proporciona “ciclo de vida”, “*time-to-market*” (tempo de colocação de produtos no mercado, tempo de lançamento) e “*time-to-volume*” (quantidade de produtos em um período de tempo) reduzidos, de forma que os produtos se mantenham lucrativos.

A manufatura digital se aproveita da zona de sobreposição do PLM com o ERP e faz parte de um mundo de negócios que exige um alto grau de adaptação. Cenários industriais se transformam rapidamente e a capacidade de se adaptar para atender às necessidades de demanda é cada vez mais comum. A manufatura digital tem a característica de melhorar processos e informações entre os departamentos da organização, clientes e fornecedores. É uma ferramenta chave da atual “manufatura adaptativa” que posiciona as empresas rumo ao sucesso.

2.3 MES E PLM NO CENÁRIO DA COLABORAÇÃO DE SOLUÇÕES DE TI

Nas indústrias de bens de capital, um grande número de soluções de TI colabora com os sistemas MES, incluindo os processos de negócios, processos técnicos, fornecedores e clientes. Jürgen Kletti (2007) em sua obra “Manufacturing Execution System - MES” traz, conforme a Figura 2.24, um interessante cenário de como esse universo de soluções de TI se integra dentro e fora da empresa.

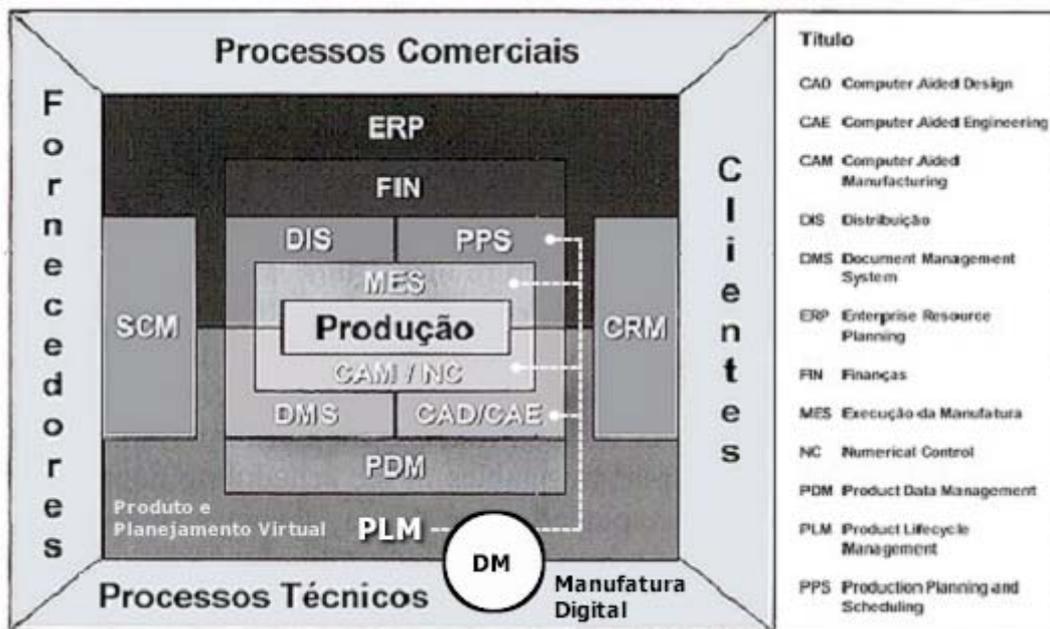


Figura 2.24 - Integração do cenário de TI dentro e fora da empresa - Fonte: Kletti (2007) – (Adaptado).

Quando as indústrias utilizam sistemas MES, o caminho para a inovação é inevitável porque o MES facilita em muito o aproveitamento do uso da informação. Nesse sentido, Jürgen Kletti (2007) destaca algumas capacidades que as informações em tempo real podem proporcionar quando vários sistemas de TI colaboram:

1. Produtos podem ser desenvolvidos em sistemas CAD, manufaturados e montados com base em programas de controle numérico (NC);
2. Ordens e planos de produção são planejados com o ERP e controlados operacionalmente com o MES;
3. Processos de produção ou fábricas são simulados com o uso de ferramentas de manufatura digital - ou fábrica digital na nomenclatura de Kletti (2007) - e então transferidas para ambientes operacionais reais;
4. Dados de máquinas e instalações são coletados e reportados às redes industriais de computadores (por exemplo, *Ethernet*).

Kletti (2007) ainda afirma que extensivos esforços estão continuamente sendo feitos no sentido da colaboração e integração do uso da informação e está convicto de que o

uso sistemático de programas de computador em ambientes de produção industrial proporciona um considerável valor agregado, transparência, flexibilidade e maior produtividade. Também afirma que, dentro do cenário de TI industrial, o MES é considerado como o sistema central de informações (*backbone*) que atua como o principal elemento entre o chão-de-fábrica e o universo de TI. Entre muitas declarações, faz algumas observações sobre o uso da manufatura digital, que ele denomina fábrica digital, e destaca a habilidade de mudanças e flexibilidade no trabalho de manufatura. Diz que a fábrica digital não é apenas usada para o replanejamento de produção para a introdução de novos produtos em larga escala, formas de produção, identificar gargalos, ou otimizar processos de produção individuais. A fábrica digital, atualmente, assegura um processo de planejamento digital para produção e fábrica mais amplo e inclui metodologias e suporte baseados no computador.

Nesse contexto, o de projeto de fábrica e planejamento da produção, inúmeras ferramentas de software de manufatura digital destacam-se no cenário do PLM. Em especial, essas ferramentas oferecem um grande potencial para empresas com ciclos longos de planejamento ou processos de produção complexos, como no caso de indústrias automotivas, aeroespaciais, de defesa, construção naval, bens de consumo, eletro-eletrônica, fabricação, montagem e automação.

Outro interessante destaque no cenário da coloração de soluções de TI se deve à MESA International - Manufacturing Enterprise Solutions Association (exposta no Item 2.1.1.1 desta pesquisa); entidade reconhecida mundialmente como referência para modelos que interpretam e categorizam as soluções de plantas de manufatura baseadas na informação. O modelo original da MESA focado em *Manufacturing Execution Systems* (MES), baseado no documento “MES Explained: A High Level Vision for Executives”, de 1997, que tem sido largamente referenciado em quase todos os assuntos, desde livros até conteúdos de analistas e especificações de usuários, foi suplantado em 2004 pelo novo modelo c-MES (*Collaborative MES*), conforme descrito no documento “MESA's Next Generation Collaborative MES Model”. Este novo modelo c-MES está focado no conceito de manufatura colaborativa e em como os vários sistemas de informação trabalham juntos, incluindo sistemas de gestão que tradicionalmente não faziam parte do domínio da MESA.

Tal é a importância desse novo modelo de colaboração c-MES que a MESA criou um modelo de solução denominado P2E (*Plant-to-Enterprise*), que mostra como os investimentos, aporte e suporte de capital promovem os objetivos estratégicos, de negócios e

de operações nas atividades industriais. A MESA destaca o PLM, que engloba a manufatura digital, como uma das cinco estratégias iniciais no esforço de melhorar as empresas de manufatura - (Figura 2.25).



Figura 2.25 - Iniciativas estratégicas do Modelo P2E proposto pela MESA, que inclui o PLM - Fonte: www.mesa.org (Adaptado).

Ao desenvolver o modelo P2E a MESA teve como principal objetivo ajudar executivos e gerentes a identificar as estratégias de TI para manufatura e as melhores práticas que suportam cada uma dessas iniciativas. Assim, escolher as soluções de TI adequadamente, avaliar os riscos e resultados, avaliar o desempenho e definir as melhores práticas de implementação foram fatores considerados. Com essa iniciativa a MESA deixa claro que o sistema MES deixa de ser visto apenas como a camada intermediária entre o nível do chão-de-fábrica e o sistema de gestão e passa a ser visto como um concentrador (*hub*) de dados e informações, auxiliando tanto iniciativas estratégicas como decisões operacionais. A Figura 2.26, que inclui o PLM, traz um panorama desse novo modelo c-MES adotado pela MESA.

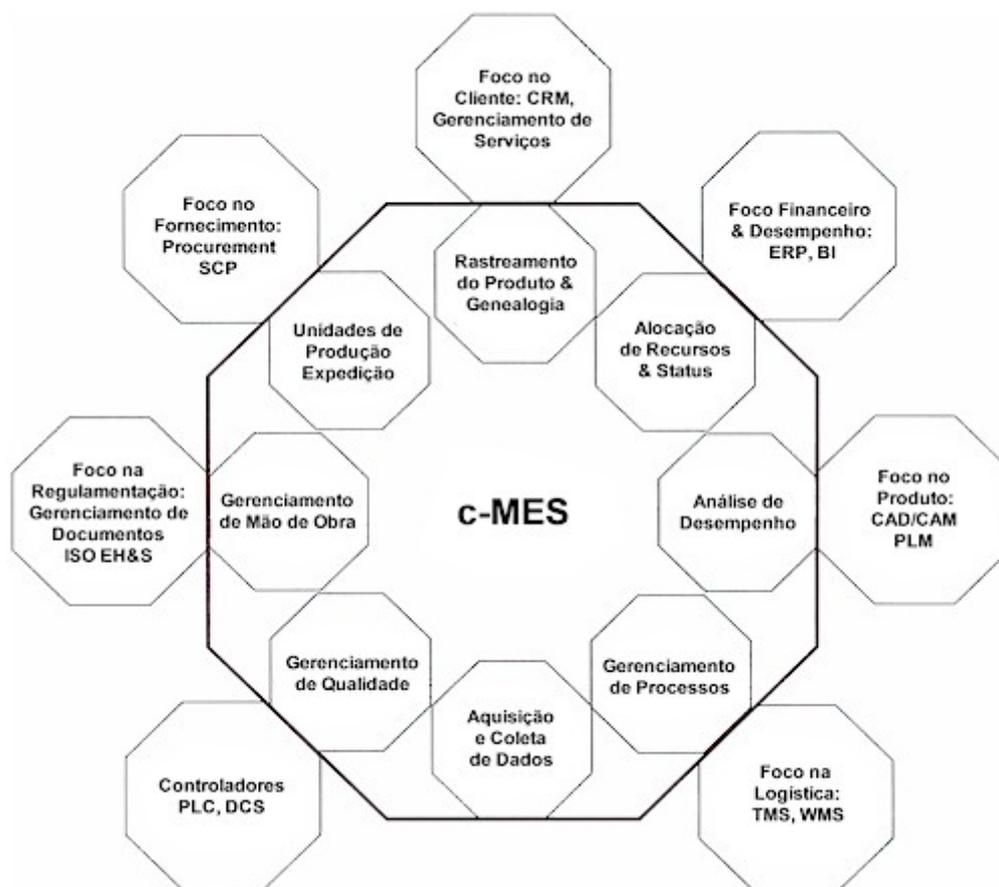


Figura 2.26 – Estrutura funcional do modelo c-MES oferecido pela MESA, que inclui o PLM, CAD e CAM, com foco nas definições do produto - Fonte: Jürgen Kletti (2007).

Em novembro de 2008, a MESA International, com o patrocínio da Siemens, SAP, TCS (Tata Consulting Services) e Lógica, lançaram um guia denominado “Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook”, onde, num primeiro passo, a MESA foca a manufatura discreta. Nesse guia, a MESA afirma que, embora as raízes do PLM iniciaram 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 ainda destaca a relevância do PLM em relação aos tradicionais sistemas MES de execução de manufatura; 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. A Figura 2.27, extraída do respectivo guia da MESA e com base no modelo ANSI/ISA-95 da ISA, dá uma visão geral da estrutura de integração entre MES e PLM, e demais níveis em um ambiente de manufatura. O guia ainda destaca que o modelo ISA-95 classifica as operações de chão-de-fábrica até o ambiente de negócios da seguinte forma: níveis de controle (0, 1 e 2), nível da camada MES (3) e nível de gestão ERP e engenharia PLM (4).

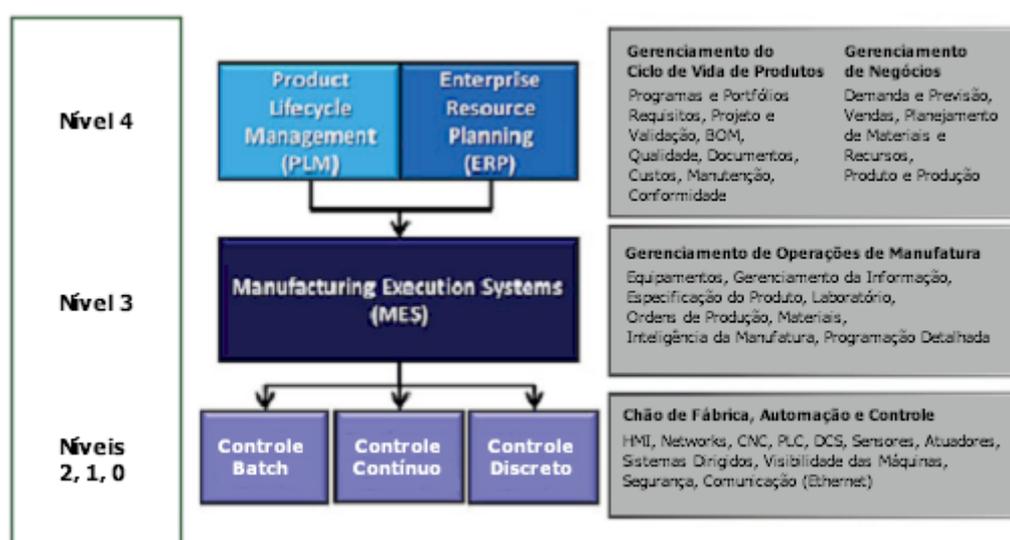


Figura 2.27 - Visão geral da estrutura de integração entre MES e PLM, e demais níveis em um ambiente de manufatura. - Fonte: Guia MESA “Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook” - Referência: Manufatura de ciclo fechado (*closed-loop*), apresentação para Analysts NYC, Giorgio Cuttica – Siemens - (Adaptado).

Como visto no artigo de Constantino Seixas Filho (2006), publicado na revista InTech e descrito no item 2.1.1.2 desta pesquisa, o padrão internacional ANSI/ISA-95 ou simplesmente ISA-95, que tem sido adotado por empresas globais tanto em processos de produção contínua, processos de bateladas ou processos repetitivos (controle discreto), é freqüentemente o mais referenciado no desenvolvimento de interfaces de automação entre sistemas corporativos e sistemas de controle. Entre os vários objetivos da norma ISA-95, estão: o de oferecer uma terminologia consistente, a qual serve de base para a comunicação entre o ambiente de produção e os vários ambientes que suprem as informações de produção;

o de fornecer modelos de informação consistentes; e o de oferecer modelos de operação consistentes. O guia “Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook” da MESA também traz, conforme ilustrado na Figura 2.28, um diagrama que ilustra como - na fase de engenharia (PLM) - o fluxo de informações flui no ambiente de uma indústria de manufatura. Pode-se perceber claramente que o ambiente de simulação, proporcionado pelas funções da fábrica virtual do PLM, pode servir de via entre o sistema MES do ambiente de produção e a abordagem PLM no ambiente de engenharia. A MESA afirma que, com a integração de dados de produção no ambiente de desenvolvimento de produtos, pode ocorrer simulações que, de antemão, favoreçam a empresa como um todo. Aqui fica evidente a importância da colaboração dos sistemas MES com softwares de manufatura digital do PLM.

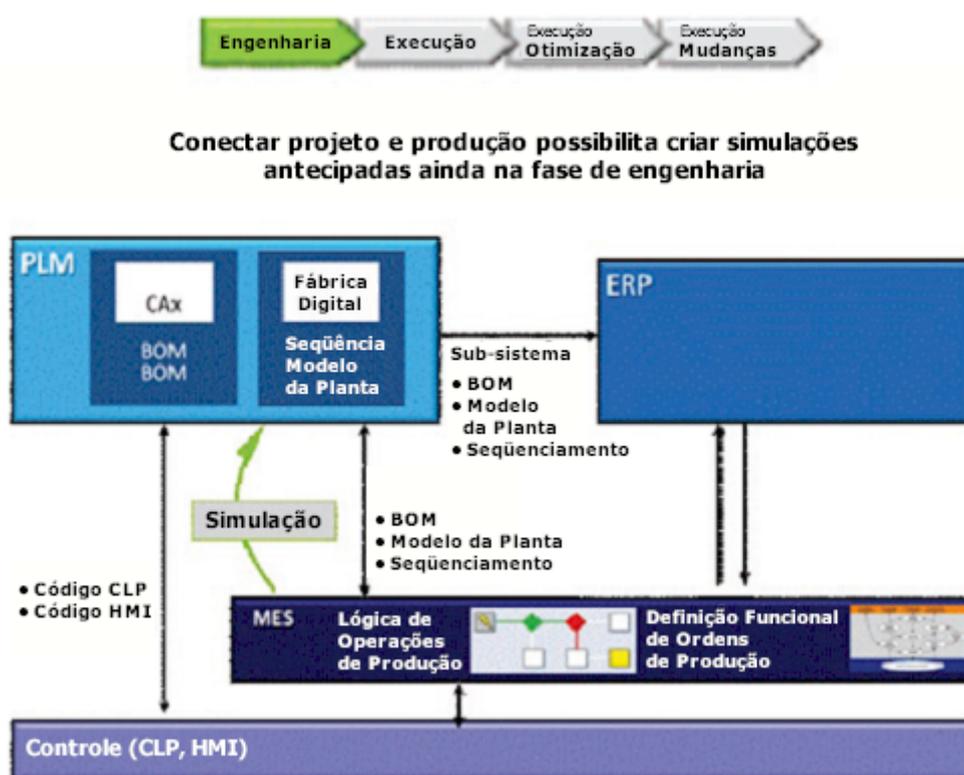


Figura 2.28 - Fluxo de informações no ambiente de uma indústria de manufatura, na fase de engenharia. - Fonte: Guia MESA “Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook”.

A título de referência, o guia da MESA traz os principais elementos que definem o potencial de integração entre o MES e PLM em dois tópicos abrangentes - (1) estrutura de integração, (2) emulação e simulação - que incluem diversos itens.

- Estendendo a estrutura do PLM para a integração com o MES, pode-se obter as seguintes vantagens:

- Comunicação do *package* “*Build to*” (fabricar para) para a produção - (“*package*”, em TI, é um mecanismo de propósito geral para a organização de elementos em grupos);
- Mudanças (*changes*) no projeto do produto, projeto do ferramental e projeto de automação;
- Gerenciamento de ações corretivas;
- Gerenciamento do ciclo de vida de características críticas;
- Projeto “*anywhere Build anywhere*”; ou seja, projeto executado de qualquer lugar para qualquer lugar.

- Envolvimento desde a emulação (transferência de dados) até a simulação (manufatura digital / fábrica virtual):

- Experiências virtuais fora da planta;
- Validações de mudanças em tempo real;
- Capacidade de processos “*Front Loading*” - emprego de recursos e capital - no projeto do produto para interagir programas Seis Sigma DFSS - (*Design for Six Sigma*) e outros programas Dfx (*Design for*);
- Projeto “estocástico” (*stochastic*) de produto - que leva em consideração eventos e variáveis aleatórias.

O guia de iniciativas estratégicas de PLM da MESA ainda dá uma visão de como os produtos eram manufaturados no passado e como os produtos são manufaturados nos tempos atuais. Por muito tempo, os produtos foram produzidos com êxito utilizando o papel

como veículo de comunicação para processos manuais. Com o advento dos dados digitais em conjunto com a necessidade descentralizada de projeto e produção, os processos manuais não conseguiram se adequar às respostas para uma produção mais responsiva, padrões Seis Sigma de qualidade e menores custos de produção. O processo digital necessitou de novas práticas para cumprir sua eficiência. Nos tempos modernos, a MESA deixa claro que é necessário ter uma solução técnica à prova de erros de tal forma a planejar a capacidade e capacidade de produção. Nesse sentido, a MESA ainda adiciona que a abordagem PLM se faz necessária para integrar digitalmente a informação de uma forma correta. Essa integração proporciona, para diversas áreas, melhorias de curto prazo que são necessárias para a colaboração entre a planta e o desenvolvimento de produtos e processos, a exemplo da dinâmica de produção para produtos customizados.

Na mesma linha da necessidade do PLM, o guia da MESA ainda destaca que, com a globalização, podem existir muitas plantas onde se faz necessário fabricar o mesmo produto, mesmo que ocorram algumas variações na planta. Também afirma que a manufatura digital, como parte integrante do PLM, tem a necessidade de adequar listas de processos (BOP's – *Bill Off Process*) únicas às características de cada planta, muitas vezes sendo esta customização de forma paramétrica. Cita que, para simular virtualmente o desempenho e custo do produto, o objetivo maior do PLM é apoiar o desenvolvimento de produtos que realmente possam ser fabricados com base na capacidade da planta e capacidade dos processos. Com o propósito de alcançar esses objetivos durante a fase de projeto, a planta, com toda a sua complexidade, deve estar de forma confiável disponibilizada digitalmente, onde as definições de processos possam ser validadas. O mais importante - citado no guia da MESA - é estar com as informações de capacidade de processos atualizadas, assim como as informações de qualidade; modelos de equipamentos e ferramental devem estar disponíveis para que os projetistas possam realmente criar produtos que não necessitem de alterações substanciais a cada instante. O guia ainda deixa claro que todos esses melhoramentos são necessários para uma efetiva implementação de processos DFSS (*Design for Six Sigma*), processos *Lean* e, inclusive, desenvolvimento *Lean* de produtos. A Figura 2.29, extraída do guia da MESA, ilustra que a manufatura digital - quando sincronizada com a fábrica - preenche o “*gap*” (lacuna) que existe entre o projeto do produto (“*design*”) e a entrega do produto (“*delivery*”) nos processos de manufatura”.

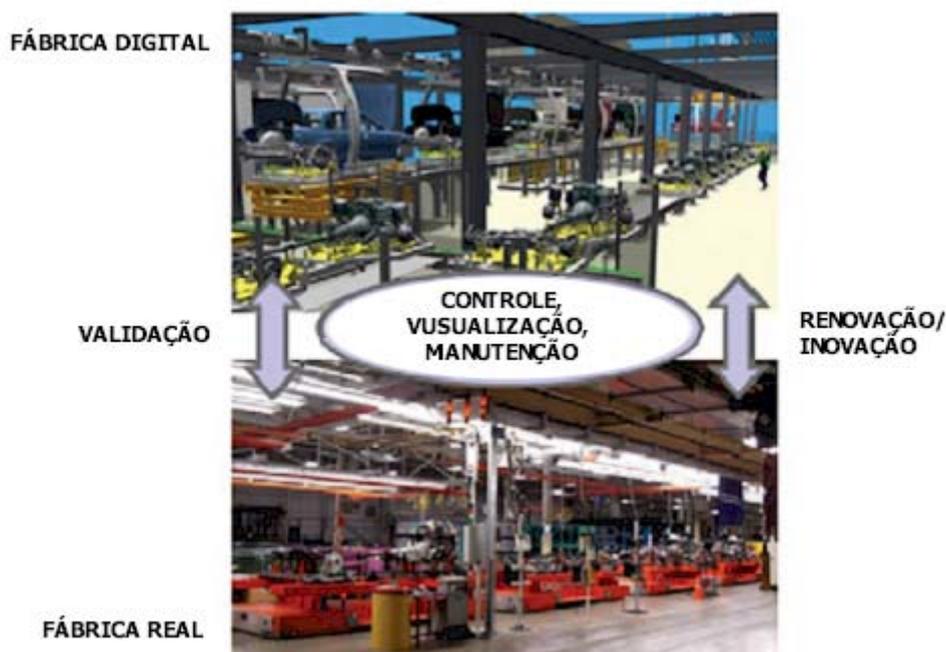


Figura 2.29 – Processos de Manufatura: Relação Fábrica Digital e Fábrica Real - Fonte: Guia MESA “Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook”.

O guia “Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook” da MESA, além do exposto, ainda destaca que, nos últimos tempos, uma outra área que vem ganhando uma significativa importância é a integração do PLM com a automação da fábrica. Nos dias de hoje, o PLM está sendo usado para o projeto de maquinários e dispositivos de chão-de-fábrica, equipamentos e ferramental, de forma que a simulação digital da automação possa ser realizada. A MESA espera que no futuro essa área, em particular, cresça e dê atenção para as tarefas de programação e validação das operações de chão-de-fábrica, uma vez que as empresas de manufatura - de um modo geral - perdem muito tempo na preparação manual da planta.

2.4 O GERENCIAMENTO DAS DEFINIÇÕES DO PRODUTO - cPDm

Uma vez iniciado todo um cenário de colaboração de TI entre sistemas de execução de manufatura MES e o gerenciamento das informações do ciclo de vida de produtos PLM, a pesquisa dá agora uma visão necessária sobre a colaboração de informações do ponto de vista do PLM. Conforme segmenta a CIMdata (www.cimdata.com), e exposto no Item 2.2 desta pesquisa, entre os três sub-setores do mercado de PLM estão as ferramentas cPDm - *collaborative Product Definition management* - que colaboram na definição do produto e sustentam 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.

A colaboração de informações do produto aliada ao conhecimento possibilita ganhos de competitividade e pode ser considerada um fator crítico no crescimento econômico de uma empresa. A colaboração permite que as empresas consigam levar para o mercado produtos mais eficientes e rentáveis. O gerenciamento das informações quer seja na definição de produtos, na definição de processos ou no controle e planejamento da produção, levou as empresas a adotar posturas de competitividade que relevam novos ambientes de colaboração. Um deles - o ambiente colaborativo na Web - tem se mostrado em constante desenvolvimento e empresas líderes de soluções corporativas em Tecnologia da Informação empenham-se - entusiasmadas com elevados investimentos - em aplicações e serviços baseados na Web. Nesse cenário, algumas abordagens ganharam destaque no mercado mundial e uma delas, quando se trata de empresas de manufatura, foi o cPDm, traduzido como gerenciamento colaborativo das definições do produto.

Historicamente, o gerenciamento dos dados do produto iniciou sua trajetória com as ferramentas de PDM (*Product Data Management*) onde têm suas raízes na engenharia de projetos. A intenção era desdobrar as definições do produto além da área de projetos e ganhar amplitude com o propósito de economizar recursos e colocar produtos mais rapidamente no mercado. A CIMdata relata que, originalmente, em meados dos anos 80, o PDM, com funções básicas, era focado em solucionar os problemas do gerenciamento de arquivos CAD e tinha um escopo limitado para o grupo ou departamento de engenharia. Com

o desenvolvimento da indústria, os propósitos se expandiram para além dos departamentos de engenharia e, no início dos anos 90, as necessidades da indústria exigiram o desenvolvimento de aplicações mais sofisticadas para lidar com assuntos como controle de mudanças, gerenciamento de configuração e outros. Surgiu um grande número de tecnologias relacionadas - como soluções de visualização - e começaram a aparecer novas capacidades que implementaram o valor da utilização do PDM. Neste momento, o PC (*Personal Computer*) se tornou a principal plataforma.

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 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 da definição do produto” - cPDm - *collaborative Product Definition management*. O cPDm reconhece a natureza estendida de soluções mais novas, além do tradicional PDM, e inclui muitas tecnologias que facilitam os processos de trabalho colaborativo, comércio de produtos colaborativo, integração de fornecedores, integração de aplicações corporativas e um grande número de abordagens baseadas na Web ou não. 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. O cPDm ou cPD, também como é conhecido, inclui métodos de melhores práticas junto com um conjunto de tecnologias corretas e em constante desenvolvimento.

O termo cPDm nasceu por volta dos anos 2000 como parte da abordagem PLM - *Product Lifecycle Management* - e permite que empresas utilizem seus processos de inovação através do gerenciamento efetivo de todo o ciclo de vida da definição do produto no conceito de empresa estendida - envolve a empresa como um todo e todos os seus parceiros externos, incluindo fornecedores e clientes. Ainda, a CIMdata destaca que o cPDm passou de uma vantagem competitiva para uma necessidade competitiva. Coloca o cPDm como um elemento essencial para que as empresas possam competir com sucesso no novo mundo de *e-business* - negócios através da Internet - em constante evolução. O cPDm favorece a

combinação de processos de melhores práticas e tecnologias, tais como gerenciamento dos dados do produto, colaboração estendida, visualização, comércio colaborativo de produto, integração de aplicações corporativas, gerenciamento de fornecimento de componentes, entre outras.

Michael Grieves (2006), ainda na obra “Product Lifecycle Management – Driving the Next Generation of Lean Thinking”, 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.

Grieves (2006) acredita que o desenvolvimento do produto segue duas linhas: desenvolvimento focado no cliente e desenvolvimento focado na empresa. No desenvolvimento dirigido ao cliente levam-se em conta as necessidades, as funcionalidades, a geometria, especificações e características do produto. Uma vez o produto digital definido - e incluídas as definições de processos - o desafio agora está na manufatura, em transformar bits em átomos com o mínimo de recursos possível. Aqui fica clara a presença da colaboração da informação dentro e fora da empresa, onde o desenvolvimento do produto engloba clientes e fornecedores. Grieves (2006) ainda considera o desenvolvimento focado na empresa uma consequência do desenvolvimento focado no cliente e ressalta o uso da colaboração e de novas tecnologias como a base da inovação.

Veja a definição literal que Grieves (2006) dá ao cPD:

O desenvolvimento colaborativo do produto, um estágio inicial do PLM, é uma abordagem que captura, organiza, coordena e/ou controla todos os aspectos da informação do desenvolvimento do produto, incluindo necessidades funcionais, geometria, especificações, características e processos de manufatura a fim de oferecer uma visão comum e compartilhada de como as necessidades do produto são traduzidas para um produto real e criar um repositório das informações do produto para ser usado em todo o seu ciclo de vida.

A proposta do cPD no início do ciclo de vida do produto é criar um núcleo de informações baseado no modelo PLM que sirva de espelho para toda a cadeia empenhada e todos os processos - um repositório de dados de referência única. Uma visão comum da informação significa simplicidade, coesão entre diferentes pontos de vista e rastreabilidade do projeto e do produto. Isso garante aspectos de colaboração no desenvolvimento e fabricação do produto, uso e descarte. Grieves (2006) afirma que o principal objetivo da colaboração da informação é evitar desperdícios de tempo, energia e materiais, com retrabalhos, versões desatualizadas de produtos ou processos, incompatibilidade de pontos de vista ou recriar informações do produto que já existiam. O cPD, por criar um repositório único de dados, faz das informações do produto um patrimônio da empresa que pode ser usado não somente no ciclo de vida do próprio produto, mas também em desenvolvimentos futuros e em novos produtos.

Na fase inicial do ciclo de vida dos produtos, ferramentas de autoria ou soluções CAD - *Computer Aided Design* - usadas isoladamente não atendem os requisitos de colaboração exigidos pelo PLM. O cPD traz mais do que um simples conceito de projeto, traz a integração entre pessoas, processos e práticas. A CIMdata com sua nomenclatura cPDM, em comum com a cPD de Grieves (2006), reforça que gerenciar a definição do produto se tornou não apenas cada vez mais complexo, mas absolutamente vital para que empresas sejam bem-sucedidas no mercado global. Também afirma que o ciclo de vida completo do produto é composto de três processos básicos e extremamente envolvidos: definição, manufatura e operações (Figura 2.30).



Figura 2.30 – Ciclo de vida do produto - composto por três processos básicos. Fonte: CIMdata.

O primeiro deles é a definição do ciclo de vida do produto. Como em todo ciclo de vida de produto, este ciclo começa no ponto mais inicial das necessidades do cliente e conceito do produto, e se estende até que o produto se torne obsoleto e seja retirado do mercado. Isso inclui o produto completo, desde componentes mecânicos e eletrônicos, até

software e documentação. Inclui todo o conjunto de informações que define como o produto é projetado, manufaturado e mantido. O segundo principal processo é o ciclo de vida da produção do produto. Este ciclo de vida inclui todas as atividades que são associadas com a produção e distribuição do produto. A produção do produto foca no produto pronto para entrega - tipicamente um bem físico. O terceiro principal processo são as operações que apóiam o ciclo de vida. Elas focam nas instalações, pessoas, finanças e recursos necessários para dar suporte à empresa. Ainda, a CIMdata conclui que, no contexto da sobrevivência de uma empresa de manufatura, deve haver um grande esforço na coordenação e colaboração da informação entre esses três ciclos. Um grande desafio está no gerenciamento do ciclo de vida das definições do produto.

A razão de destaque do cPDm nesta pesquisa é que a manufatura digital, assim como todas as ferramentas de autoria do PLM como o CAE, CAD, CAM e PDM usam a estrutura de dados do cPDm - no conceito de empresa estendida - para colaborar informações de projeto, dados de simulação, validação de processos de produção e muitas outras atividades de uma empresa de manufatura. A CIMdata - em seu *website* www.cimdata.com - traz uma lista com mais de 40 empresas fornecedoras de aplicações focadas em cPDm, uma outra lista com mais de 120 empresas fornecedoras de soluções PDM, além de listas que incluem fornecedores de soluções de visualização e colaboração, fornecedores de ferramentas CAE/CAD/CAM, EDA (*Electronic Design Automation*), CSM (*Component Supplier Management*), e fornecedores de soluções de manufatura digital.

2.5 PRINCIPAIS “PLAYERS” DO MERCADO DE PLM

Uma vez compreendida a conceituação do PLM, a visão do gerenciamento das definições de produtos cPDm, as aplicações das ferramentas de autoria CAE/CAD/CAM, e entendida a abordagem da manufatura digital do PLM, a pesquisa ainda faz uma classificação, de forma exploratória, dos principais “*players*” de PLM do mercado mundial, evidenciando – em duas tabelas (Tabelas 2.6 e 2.7) - os líderes de soluções PLM, que incluem os fornecedores de soluções cPDm, ferramentas de autoria CAE/CAD/CAM e soluções digitais, e os líderes de soluções para manufatura digital, uma vez que essas soluções são o foco da

pesquisa para a integração de sistemas PLM e MES em ambientes de chão-de-fábrica. A classificação se apoiou no *website* das principais empresas mundiais de pesquisa. A ARC Advisory Group (<http://www.arcweb.com>) para o “*players*” de PLM e a CIMdata (<http://www.cimdata.com>) para os “*players*” de manufatura digital.

Tabela 2.6 - Principais “*players*” do mercado mundial de PLM
(ARC Advisory Group)

Empresa	Regiões/Países de Atuação	Produtos e Especialidades	Website
Actify	América do Norte, EMEA (Europa, Oriente Médio e África) e Ásia.	SpinFire Professional, SpinFire for MSOffice, DesignShare e Publisher. Soluções para colaboração de dados do produto.	www.actify.com
Alibre	América do Norte, América do Sul, EMEA e Ásia.	Alibre Design, Alibre Woodworking, Alibre CAM. Soluções voltadas para colaboração em tempo real e compartilhamento de dados em projetos mecânicos.	www.alibre.com
Altair	América do Norte, América do Sul, EMEA e Ásia.	HyperWorks, PBS Gridworks, Product Design, HiCube. Soluções para otimizar análise,	www.altair.com

		gerenciamento e visualização das informações de engenharia e negócios.	
ANSYS	América do Norte, América do Sul, EMEA e Ásia.	Soluções para simulação e análises de engenharia, usadas para prever como os projetos de produto vão operar e como os processos de manufatura vão se comportar em ambientes reais.	www.ansys.com
ARAS	América do Norte, Japão, China, Índia e EMEA.	Soluções para PLM, PDM, Sistemas de Qualidade, Sistemas de Planejamento e APQP - <i>Advanced Product Quality Planning</i> .	www.aras.com
Arena	América do Norte, EMEA e Ásia.	Arena On-Demand. Solução que centraliza as informações do produto, captura, compartilha, faz a análise e controle dos registros de produtos.	www.arenasolutions.com
Autodesk	América do Norte, América do Sul, EMEA e Ásia.	Soluções para projeto 3D, gerenciamento e compartilhamento de dados do projeto.	www.autodesk.com

Centric Software	América do Norte, EMEA e Ásia.	Soluções Cenetric 8 PLM & Sourcing, focadas na melhoria da colaboração e autonomia de equipes globais.	www.centricsoftware.com
Dassault Systèmes	América do Norte, América Latina, EMEA e Ásia.	CATIA, DELMIA, ENOVIA, SIMULIA. Soluções para PLM, projeto CAD 3D e simulação.	www.3ds.com
Geometric	América do Norte, EMEA, Ásia.	CAMWorks, DFMPPro, eDrawings Publisher, 3DshopFloor. Soluções para PLM.	www.geometricglobal.com
IFS	América do Norte e EMEA.	Suíte de produtos ERP baseados em SOA.	www.ifsworld.com
Infor	América do Norte, EMEA, Ásia e América do Sul.	Infor PLM 8. Solução para PLM.	www.infor.com
Invention Machine	América do Norte, EMEA e Ásia.	Invention Machine Goldfire. Solução para concepção e validação de projetos.	http://invention-machine.com
LMS	América do	Soluções de PLM para	www.lmsintl.com

	Norte, EMEA, Ásia e América do Sul.	indústrias de manufatura avançada, como aeroespacial e automotiva.	
MSC	América do Norte, EMEA, Ásia e América Latina.	Soluções avançadas de simulação.	www.mscsoftware.com
Omnify	América do Norte e EMEA.	Solução de PLM específica para OEMs. Atende as indústrias eletrônica, mecânica, médica e de defesa.	www.omnifysoft.com
Oracle	América do Norte, Ásia e Europa.	Oracle Agile PLM. Suíte de produtos para PLM.	www.oracle.com
Proficiency	América do Norte e EMEA.	Soluções para interoperabilidade de dados CAD e integração do conhecimento do produto.	www.proficiency.com
PTC	América do Norte, EMEA, Ásia e América Latina.	CREO (Pro/Engineer), WindChill. Soluções para PLM.	www.ptc.com

SAP	América do Norte, EMEA, Ásia e América do Sul.	SAP PLM. Soluções para PLM.	www.sap.com
Selerant	América do Norte, EMEA e América Latina.	Soluções PLM para indústrias específicas.	www.selerant.com
Siemens PLM Software	América do Norte, EMEA, Ásia e América Latina.	Teamcenter, NX, Tecnomatix, Velocity Series, PLM Components. Soluções PLM.	www.siemens.com/plm
Sopheon	América do Norte, EMEA e Ásia.	Provedor de soluções de software e serviços para o gerenciamento do ciclo de vida de produtos PLM.	www.sopheon.com
think3	América do Norte e EMEA.	Soluções de <i>Styling</i> (modelagem e criação), engenharia, ferramentaria e PLM.	www.think3.com
Zweave	América do Norte, EMEA e Ásia.	Soluções para desenvolvimento de produtos e cadeia de fornecimento com foco em PLM.	www.zweave.com

Fonte: ARC Advisory Group (<http://www.arcweb.com/Domains/PLM/default.aspx>).

Tabela 2.7 - Principais “players” do mercado mundial de PLM - Manufatura Digital
(CIMdata - *Global Leaders in PLM Consulting*)

Empresa	Regiões/Países de Atuação	Produtos e Especialidades	Website
Activplant Corporation/CD C Software	América do Norte, EMEA e Ásia.	CDC Factory Suite. Soluções para gerenciamento das operações de manufatura (MOM - <i>Manufacturing Operations Management</i>).	www.cdcsoftware.com
ASCON	América do Norte, América do Sul, EMEA e Ásia.	KOMPAS 3D. Soluções para CAD, AEC e PLM.	www.ascon.ru
Camstar Systems	América do Norte e Ásia	Camstar Manufacturing. Soluções para manufatura e qualidade.	www.camstar.com
Cogiscan	Canadá e EUA.	Soluções para controle de material para a indústria de produtos eletrônicos.	www.cogiscan.com
DELMIA (Dassault Systèmes)	América do Norte, América do Sul, EMEA e Ásia.	DELMIA. Solução para manufatura digital.	www.3ds.com/products/delmia

Giraffe Production Systems	Austrália	Giraffe Scheduling System. Solução para planejamento e programação da manufatura.	www.giraffeproductionsystems.net
INTePLAN, Inc. (Ranal Software Solutions)	Canadá, EUA, Índia e Alemanha.	CAMeLEAN. Solução para manufatura digital.	www.ranal.com
Kineo C.A.M. - Computer Aided Motion	França	Solução para planejamento de caminhos e movimentos.	www.kineocam.com
KRONTIME	Espanha	Soluções de software para manufatura digital.	www.krontime.com
Polyplan (PTC)	América do Norte, América do Sul, Europa e Ásia.	Windchill MPMLink. Solução para gerenciamento do processo de manufatura.	www.ptc.com
Siemens PLM Software	América do Norte, América do Sul, EMEA e Ásia.	Soluções para PLM e manufatura digital.	www.plm.automation.siemens.com
SIMUL8	América do Norte e Europa.	Soluções para simulação.	www.simul8.com
Taylor	Canadá e Estados	Taylor Scheduler.	www.taylor.com

Scheduling Software	Unidos.	Software para programação da produção.	
Tecnomatix (Siemens PLM Software)	América do Norte, América do Sul, EMEA e Ásia.	Solução para manufatura digital.	www.plm.automation.siemens.com
Tuppas Software Corporation	EUA	Especializada em soluções de ERP e MES.	www.tuppas.com
Valor (Mentor Graphics Corp.)	América do Norte, América do Sul, EMEA e Ásia.	Valor MSS. Soluções para execução da manufatura.	www.mentor.com

Fonte: CIMdata - (http://www.cimdata.com/plm/solution_suppliers/digital_manufacturing.html).

Ainda, como complemento da pesquisa e para dar uma ordem de grandeza, segue a relação dos principais “*players*” do mercado de PLM na categoria cPDm - *collaborative Product Definition management* - extraída do *website* da CIMdata (http://www.cimdata.com/plm/solution_suppliers/focused_applications.html), uma vez que a colaboração das informações do produto aliada aos processos de planejamento de produção - na forma de conhecimento - com o uso da manufatura digital, possibilita ganhos de competitividade e pode ser considerado um fator decisivo para o crescimento econômico das indústrias:

- Akoya - (análise de gerenciamento de custos);
- aPriori;
- Arbortext (PTC) - (solução empresarial de publicação);

- Artemis International Solutions Corporation (Versata Enterprises, Inc.)
- (gerenciamento de portfólio de produtos, projeto e recursos);
- BetaSphere (VOOnline) - (suporte a decisões);
- Camilion Solutions - (soluções PLM para indústria de seguros);
- Campfire Interactive - (previsão de oportunidades e vendas, estimativa de custos e cotações, BPM - *Business Process Management*, gerenciamento de projetos, ECO - *Engineering Change & Work Order Management*);
- ClearForest - (BI - *Business Intelligence*);
- Cohesia (Powerway Inc.);
- CollabNet - (desenvolvimento de software colaborativo);
- Configit Software - (configuração e controle de produto);
- CYA Technologies, Inc.;
- Dyadem - (gerenciamento de riscos de produtos e processos);
- Endeca - (soluções avançadas de navegação);
- Eurostep - (compartilhamento e troca de dados de produto);
- Federation (Cordys);
- Intersect Software - (gerenciamento e avaliação de projetos);
- Invention Machine - (inovação de produtos);
- IQS - (gerenciamento de qualidade e conformidade);
- Kineo C.A.M. - (planejamento de caminho automático);
- Knowllence - (gestão do conhecimento);

- Mercury Interactive Corporation (HP) - (gerenciamento de prioridades e projeto);
- MRO (IBM);
- Network Appliance - (armazenagem de dados);
- Niku (Computer Associates) - (gerenciamento de portfólio);
- Planisware - (gerenciamento de portfólio);
- PlanView - (gerenciamento de portfólio);
- Primavera - (gerenciamento de projetos);
- Product Sight (Centric Software) - (distribuição de especificações);
- SCM4ALL - (gerenciamento de configuração de software);
- Seapine Software - (gerenciamento de configuração);
- Select Business Solutions;
- SigmaQuest - (provedor de softwares de PPI - *Product Performance Intelligence*);
- Sopheon - (suporte a processos de gerenciamento e decisão);
- Stage-Gate, Inc. - (soluções de inovação de produtos);
- Sustainable Minds - (*green design* - projetos ambientalmente corretos);
- Tacton Systems AB - (configurações de venda);
- TeamShare (Serena Software);
- Telelogic - (gerenciamento de processos e mudanças);
- TMSSequoia (Pegasus Imaging) - (produção de documentos e gráficos);

2.6 A EVOLUÇÃO DO MERCADO DE AUTOMAÇÃO - OS PASSOS DO PLM NO CHÃO-DE-FÁBRICA

Como se pôde notar entre as inúmeras empresas provedores de soluções MES apresentados nas Tabelas 2.3 e 2.4 - fornecedores internacionais e nacionais - do Item 2.1.4 (Principais “*Players*” do Mercado de MES) do Capítulo 2 desta pesquisa, ainda são poucas as empresas no mundo todo que têm a visão e se preocupam em colaborar - nos dias de hoje - os dados de chão-de-fábrica, obtidos com o auxílio de sistemas MES, com as ferramentas que a abordagem PLM oferece, incluindo a manufatura digital. Esse comportamento de mercado é incipiente, está no começo, e passos importantes nesse sentido puderam ser observados com as atuais iniciativas da MESA International, da ISA e do ARC Advisory Group, do empenho da divisão “Automation and Drives” da Siemens na aquisição da UGS PLM, para integrar os conhecimentos de automação industrial às funcionalidades do PLM, da participação da Dassault Systèmes como acionista minoritária da Intercim, em função da suíte MES do software Pertinence oferecer ferramentas que colaboram com o PLM, de empresas como a Apriso (com sua suíte FlexNet), Geometric e algumas outras que se manifestam nesse sentido.

A CIMdata, atualmente com escritórios nos EUA, Holanda e Japão, que mantém em seu “*staff*” (quadro de colaboradores) renomados consultores e pesquisadores PLM como Ed Miller, Alan Christman, Ken Amann e John MacKrell, em 2007, elaborou um *paper* - na forma de artigo - intitulado “PLM - Automation Market Evolution - The PLM Footprint Steps onto the Factory Floor”, onde traz uma visão da evolução do mercado de automação e os passos do PLM em direção ao chão-de-fábrica. O artigo da CIMdata deixa claro que, em todo o mundo, as empresas estão investindo em PLM em níveis crescentes, conforme o valor do PLM tem se mostrado válido na capacidade de transformar as empresas em mais eficientes, mais inovadoras e mais bem-sucedidas. A colaboração entre a automação e o PLM possibilita um ambiente de produção mais integrado e dirigido ao conhecimento; um ambiente no qual projetar os produtos, as instalações e seus processos de produção, se torne, da melhor maneira possível, um simples processo que otimize a especialidade e o conhecimento da organização. Como resultado da evolução do PLM no chão-de-fábrica, o PLM ganhou ainda mais importância tornando-se assim uma solução não apenas centrada no projeto do produto, mas também uma solução mais abrangente do ciclo de vida do produto

virtual, uma vez que o projeto, a manufatura e o gerenciamento das informações estão totalmente integrados. O artigo também deixa claro que o aspecto de integração do PLM com o chão-de-fábrica não está completo; tem muito a se desenvolver, principalmente na criação de melhores conexões (interfaces) e vários itens importantes de colaboração no ciclo de vida do produto.

O artigo ainda retrata a explosão de discussões gerada pela aquisição da UGS pela Siemens, principalmente no impacto causado dentro dessas duas empresas e na indústria de PLM de um modo geral. Após a aquisição, a UGS passou a ser uma unidade dentro do Grupo Automation & Drives (A&D) da Siemens, grupo este com um grande *expertise* em soluções de automação de fábricas. Devido ao papel da UGS, como um dos principais fornecedores de soluções PLM do mundo, esta aquisição gerou uma grande quantidade de especulações e interesses, já que as pessoas do mundo inteiro procuravam entender as implicações que a aquisição causaria a curto e longo prazo. O objetivo declarado foi o de integrar as tecnologias de automação e produção da Siemens com a suíte de tecnologias PLM da UGS, para oferecer ao mercado soluções mais amplas.

Ainda, no artigo, a CIMdata deixa claro que esta aquisição foi um evento importante para o mercado de PLM, porque, de uma certa forma, fez acelerar a integração da abordagem virtual do PLM com o mundo físico da produção industrial e plantas de processo, uma evolução em curso por muitos anos. Essa integração, ainda segundo o artigo da CIMdata, foi um passo lógico na maturidade do mercado a longo prazo e, outro passo importante, no sentido de cumprir a promessa das estratégias da Manufatura Integrada por Computador (CIM – *Computer Integrated Manufacturing*), as quais foram propostas inicialmente há 25 ou 30 anos atrás. Na mesma linha, a CIMdata descreve que as principais aquisições da indústria tendem a forçar os fornecedores concorrentes a reagir para competir com mais eficiência. Cita que, conforme o programa DELMIA de manufatura digital da Dassault Systemès se tornou mais substancial, a UGS deu o passo de adquirir a Tecnomatix - empresa fundada em 1983, de origem israelense, especializada em gerenciamento de processos e fábrica virtual - ao invés de apenas fazer uma parceria com a empresa. Na seqüência, a PTC - detentora das suítes Pro/ENGINEER (atual CREO) e Windchill - adquiriu a PolyPlan para ajudá-la a lidar também com a manufatura digital e, em um outro “*paper*” intitulado “A Review of Autodesk’s Transition” lançado pela CIMdata em janeiro de 2010, a Autodesk - que resistiu por muitos

anos às iniciativas PLM como parte de suas estratégias de mercado - rendeu-se e evoluiu para a categoria de fornecedora de soluções PLM.

O artigo “PLM - Automation Market Evolution - The PLM Footprint Steps onto the Factory Floor”, ainda destaca que as iniciativas de PLM têm sido confirmadas como excelentes ferramentas de melhoria de desempenho empresarial e tornaram-se, além do ERP, os principais programas nas empresas líderes de mercado do mundo todo. Para complementar, este artigo deixa claro que o PLM foca no apoio do ciclo de vida completo do produto virtual/digital, ao passo que o ERP foca no ciclo de vida de produção do produto. Como já descrito anteriormente PLM e ERP se complementam e, conforme ilustra a Figura 2.31, extraída deste artigo da CIMdata, PLM e ERP têm diferentes pontos de interação no ciclo de vida de um produto.



Figura 2.31 - PLM e ERP com diferentes pontos de interação no ciclo de vida de um produto. Fonte: Artigo CIMdata (PLM - Automation Market Evolution - The PLM Footprint Steps onto the Factory Floor).

A ilustração indica que o PLM se integrou com a automação da fábrica e, dessa forma, ficou mais próximo do chão-de-fábrica. O resultado foi uma maior integração entre as tradicionais áreas do PLM – cPDM, ferramentas de autoria CAE/CAD/CAM e manufatura digital - e a área de planejamento e controle da produção do ERP. A figura ainda deixa claro que, a região de intersecção entre automação e PLM, e a região de intersecção entre automação e ERP, formam uma via de colaboração e fortalecimento no compartilhamento de informações relacionadas ao produto, provenientes dos dois ambientes - PLM e ERP. Embora

não seja a única, é uma via que oferece excelentes oportunidades de melhor integrar toda a empresa de manufatura.

O artigo da CIMdata traz, conforme a Figura 2.32, uma visão geral das áreas de cobertura que são apoiadas pelas iniciativas PLM em todo o ciclo de vida do produto, desde o projeto conceitual até o descarte, e que é muito parecida com a visão de Michael Grieves (2006) exposta no Item 2.2 desta pesquisa.



Figura 2.32 - Visão geral das áreas de cobertura que são apoiadas pelas iniciativas PLM. Fonte: Artigo CIMdata (PLM - Automation Market Evolution - The PLM Footprint Steps onto the Factory Floor).

Percebe-se claramente que a abordagem PLM foi expandida de uma área que, predominantemente, focava apenas no projeto do produto, para áreas que abrangem uma série de atividades e incluem inclusive a produção, manutenção e suporte. Os provedores de soluções PLM, assim como a CIMdata e outras entidades, defendem que quanto mais abrangente for a área de cobertura do PLM, maior será a aceleração de desempenho das empresas e, como consequência lógica, mais completa a integração e automação da fábrica. Isso permite que as informações e características de manufatura sejam incorporadas mais cedo no processo de desenvolvimento do produto, desta forma, tornando possível que mudanças e assuntos relacionados à produção possam fluir de imediato no processo do projeto do produto.

O artigo ainda ressalta um ponto muito importante: “Quando se considera a integração de soluções de automação com soluções PLM, é importante considerar os melhores

pontos de integração entre os dois ambientes. Dentro da abrangência do PLM, a manufatura digital é obviamente o ponto principal de integração com a automação da fábrica”.

A manufatura digital do PLM foi uma das principais áreas de expansão nos últimos anos, incorporando substancialmente a engenharia de manufatura na abordagem PLM. A suíte Tecnomatix da Siemens/UGS e a suíte DELMIA da Dassault Systèmes, nesse contexto, foram claramente visíveis como pioneiras no desenvolvimento e expansão de soluções de manufatura digital e educação da indústria a esse respeito. Além disso, a tendência de integrar sistemas de manufatura digital DM - *Digital Manufacturing* - com sistemas de execução de manufatura MES tornou-se evidente, principalmente por facilitar a via de realimentação necessária para melhor entender o impacto dos projetos de processo e produto nas instalações e chão-de-fábrica. Essa integração, do MES e a manufatura digital do PLM, possibilita a comunicação de dados - entre a manufatura e a engenharia - de uma forma mais rápida ou até instantânea, permitindo assim melhorias de processos e melhores tomadas de decisão. Essa via de mão dupla, entre MES e PLM, torna possível que engenheiros e projetistas escolham, entre várias opções, o processo de fabricação que leve a um menor custo final do produto, assim como de melhor qualidade, e inclusive favoreça as iniciativas DFM (*Design for Manufacturing*) – (MILLER *et al.*, 2007).

Ainda segundo o artigo da CIMdata, com o PLM indo em direção ao chão-de-fábrica, as soluções cPDM - que gerenciam as informações do produto, seu desenvolvimento e o uso colaborativo das informações em toda a empresa estendida - necessitam ser mais completas na acomodação das necessidades de manufatura e automação, principalmente no desenvolvimento de melhores integrações, a exemplo do projeto de fábrica, máquinas e ferramental. À medida que a abordagem PLM e suas ferramentas cPDM evoluem, inclusive para oferecer um apoio mais extensivo às soluções MES e de automação da manufatura, a integração do PLM com os sistemas de planejamento da produção dos sistemas ERP se torna mais crítica, em outras palavras, fica mais visível a necessidade de integrações mais claras e detalhadas entre o mundo virtual e o mundo real. Conforme já descrito, existe uma via potencial de possível integração entre o ciclo de vida virtual gerenciado pelo PLM e o ciclo de vida do produto físico gerenciado pelo ERP. Esta via de integração será principalmente consumada com a utilização de uma infra-estrutura física central de informações, via rede local ou Internet, oferecida pelas soluções cPDM.

Do artigo da CIMdata e de tudo que foi apresentado nesta pesquisa até o momento, pode-se diagnosticar que existem duas grandes vertentes que tiram proveito da colaboração com os sistemas de execução de produção MES (MOM/MOS) nas empresas de manufatura, quer sejam elas focadas nos processos contínuos, de bateladas ou discreto. São os fornecedores - provedores de solução - com origem na engenharia que compõem atualmente o mercado de soluções PLM e os fornecedores com origem na administração da produção que compõem o mercado de sistemas ERP. Do lado do PLM, as empresas avançam com soluções de manufatura digital, remodelam suas ferramentas de CAE/CAD/CAM e avançam nas soluções de gerenciamento de informações cPDM e PDM, que por vezes fazem frente aos sistemas ERP em determinadas aplicações. Suítes 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. Do lado do ERP, empresas como SAP, Oracle, Infor, Fujitsu e muitas outras se dedicam a ampliar a participação de mercado e estendem suas ofertas de soluções ERP até o PLM. Um exemplo é o SAP PLM da SAP, um outro exemplo é a solução Agile PLM da Oracle.

Como ilustração, a suíte PLM da SAP, também denominada de SAP Product Lifecycle Management (SAP PLM), promete dar suporte para todos os processos relacionados com o produto dentro de uma visão holística - desde a primeira idéia, produção, e inclui também o gerenciamento de modificações. Faz parte do SAP Business Suite - uma suíte mais ampla da SAP que inclui ERP, SCM, CRM e PLM - tudo suportado pelo SAP Netweaver (um pacote completo de tecnologias de software que apóiam infra-estrutura de portal, armazenagem de dados de negócios, integração de aplicações corporativas, plataformas de aplicação adequadas para web, tecnologias móveis e muito mais), e se concentra na idéia de oferecer uma base sólida para o conceito NPDI (*New Product Development and Introduction*), para o desenvolvimento e introdução de novos produtos. O SAP PLM também se propõe a administrar pessoas e informações em um único processo, e ainda integrar os departamentos de uma empresa, incluindo marketing e vendas, planejamento e produção, compras e manutenção. Além disso, o SAP PLM trabalha no conceito de empresa estendida, e permite colaborar parceiros, fornecedores e clientes.

No caso da Oracle, em maio de 2007, a empresa usou da estratégia de adquirir a Agile Software Corporation, uma empresa líder no segmento de PLM. Na época os clientes

da Agile incluíam a Acer, a Flextronics International, a GE Medical Systems, a Harris, a Heinz, a Johnson & Johnson, a Lockheed Martin, a McDonald's, a Micron, a QUALCOMM, a Shell, entre muitos outros. Ainda, com o anúncio da aquisição, Charles Phillips, no cargo da presidência da Oracle, fez uma declaração para a imprensa do mundo todo e colocou o mercado de PLM como um dos segmentos de maior crescimento, quando o foco é atingir a inovação com produtos rentáveis. Posicionou a aquisição da Agile como a base de ofertas de soluções PLM da Oracle para promover a entrega de aplicações específicas da indústria e também oferecer aos clientes SAP outras capacidades. Além disso, uma outra declaração importante para o avanço do mercado de PLM foi dada por Jay Fulcher, CEO (*Chief Executive Officer*) da Agile. Ele declarou que, com mais de 1.250 clientes de PLM e mais de 10.000 clientes de soluções de visualização, a Agile provou estar no caminho certo em integrar soluções ERP diversas e sistemas CAD; ainda declarou que, agora por fazer parte da Oracle, a Agile tomará parte de outra esfera de negócios, com isso acelerando o mercado de PLM. SAP e Oracle são casos visíveis de empresas com foco em gestão, que se posicionaram estrategicamente para participar do mercado de PLM.

Conforme destaca a CIMdata, ainda percebe-se que uma solução cPDm, para atender as necessidades de colaborar as informações do produto ao longo de seu ciclo de vida, pode ser representada pelo lado da engenharia (PLM) ou pode ser representada pelo lado da gestão (ERP). Na prática, o que vai prevalecer na decisão de usar uma estrutura de dados, embasada no PLM ou embasada no ERP, é a tradição do conhecimento e o montante de capital investido nos sistemas de informação que a empresa possui, ou seja, o legado. A interoperabilidade do legado e da nova plataforma de dados cPDm, nos dias atuais, se dá, na maioria das vezes, com o uso da abordagem de arquitetura de software denominada SOA (*Service-Oriented Architecture*). A tecnologia SOA trouxe à tona a necessidade de fortalecer o enfoque no cliente e tornar a gestão de serviços como uma atividade produtiva (<http://pt.wikiquote.org/wiki/SOA>).

Empresas que implementaram - ou pensam em implementar - um sistema de chão-de-fábrica MES, tradicionalmente com seu legado apoiado em sistemas de gestão, normalmente colaboram - ou pensam em colaborar - as informações do MES com sistemas ERP. Essa linha de pensamento ainda prevalece na maioria das empresas. Neste caso, a engenharia pode inclusive usar o sistema ERP como uma solução de PDM. Já, para as empresas que possuem um legado apoiado em sistemas cPDm do PLM, como o Teamcenter

da Siemens PLM Software ou o Enovia da Dassault Systèmes, é mais adequado colaborar as informações do sistema MES com esses sistemas cPDM, o que nada impede que as informações possam ser colaboradas com os sistemas ERP, inclusive para decisões de planejamento e controle da produção. Afinal são propósitos diferentes, um para colaborar no desenvolvimento de produtos e planejamento de processos e o outro para colaborar na transação das ordens de produção e as implicações de gestão.

A Figura 2.33, extraída do guia da MESA “Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook”, mostra como consequência da pesquisa, que a Aberdeen Group - uma outra instituição de cunho científico/comercial de prestígio mundial (<http://www.aberdeen.com>) - confirma a premissa estabelecida pela CIMdata em delinear que uma estrutura de manufatura consiste de processos de negócios e comerciais (*Business/Commerce*), processos de inovação do produto (*Product Innovation*) e processos de execução de produção (*Production Execution*).

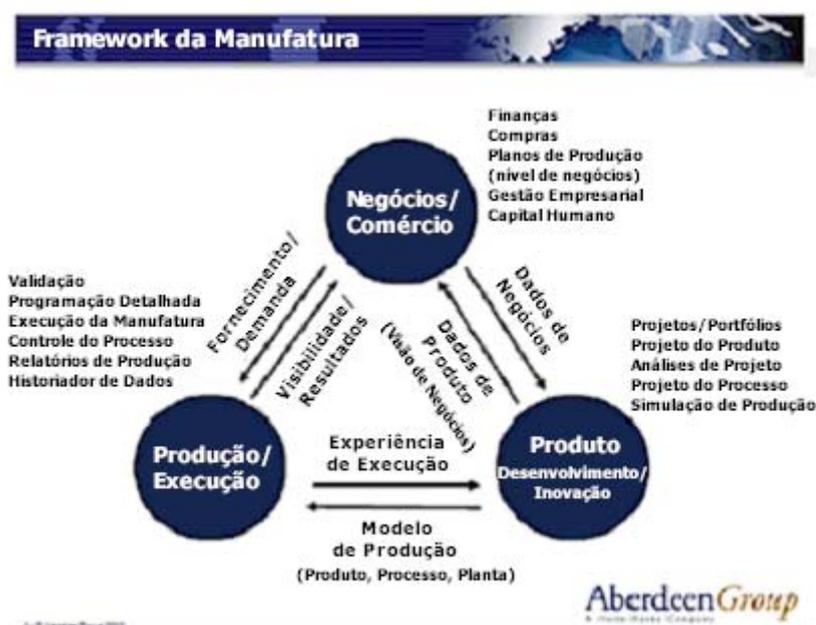


Figura 2.33 - Aberdeen Group confirma a premissa estabelecida pela CIMdata em delinear que uma estrutura de manufatura consiste de processos de negócios e comerciais, processos de inovação do produto e processos de execução de produção - Fonte: Guia MESA “Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook” – (Adaptado).

CAPÍTULO 3

MANUFATURA DIGITAL: DELMIA E TECNOMATIX - VISÃO DASSAULT SYSTÈMES E SIEMENS PLM SOFTWARE

Neste capítulo a pesquisa explora as duas principais marcas de manufatura digital existentes no mundo: a suíte Delmia da Dassault Systèmes e a suíte Tecnomatix da Siemens PLM Software. Situa essas duas marcas e traz uma visão geral do que ambas, a Dassault Systèmes e a Siemens PLM Software, pensam a respeito da manufatura digital, simulação e PLM. Ambas conceituam a manufatura digital de acordo com os pontos de vista de cada empresa e comentam sobre os benefícios da aplicação dessa tecnologia no cenário atual e futuro. Relevam, com base nas definições do produto e também por comparar o planejado com o realizado, a colaboração da informação no planejamento dos processos de manufatura, execução e gerenciamento da produção que, de uma forma apropriada, consolidam a qualidade e confiança dos produtos em cenários de simulação e visibilidade de processos e produtos no chão-de-fábrica. As suítes se apresentam como um conjunto abrangente de ferramentas interdisciplinares que afetam diretamente os processos de negócios das empresas de manufatura, influenciando e propiciando, de uma forma direta, a engenharia concorrente e os processos de tomadas de decisão para melhoria de produtividade, menores custos de produção e metas de qualidade.

3.1 DASSAULT SYSTÈMES

Com sede em Vélizy-Villacoublay (França) e 28 anos de mercado, criada em 1981, a Dassault Systèmes (DS) - posicionada como líder em 3D e soluções PLM - tem em sua visão, intitulada “*3D opens the door to the world we imagine*” (o 3D abre as portas para o mundo que nós imaginamos), facilitar a criação, o compartilhamento e a experiência em 3D para projetistas e comunidades de usuários. Em sua proposta, a Dassault Systèmes oferece soluções em software e serviços para definição de produtos e simulações digitais, assim como soluções para processos e recursos exigidos para a manufatura, manutenção e reciclagem, que atendem quaisquer tamanhos de empresa e levam em conta fatores de sustentabilidade e ambientais, para todos os tipos de indústria

A visão PLM da Dassault Systèmes tem como alvo um 3D intuitivo com foco na transformação dos negócios de seus clientes, proporcionando melhorias nos níveis de inovação, qualidade, controle de custo e tempo de resposta de lançamentos de produtos para o mercado (*time-to-market*). Entre as características da abordagem PLM oferecida pela Dassault Systèmes está o tratamento do conhecimento como uma oportunidade de gerenciamento digital do produto; isso proporciona aos seus clientes a habilidade de projetar e visualizar com realidade (*render*) seus produtos, assim como simular seus processos de fabricação. Principalmente por possuir grande experiência em atender clientes de classe mundial (*world-class*), a Dassault Systèmes afirma que a produção virtual melhora os níveis de segurança, confiabilidade e ergonomia, assim como proporciona enormes vantagens para seus clientes na melhoria de processos críticos de negócios.

Recentemente, dentro de sua visão de mercado, a Dassault Systèmes apresentou o PLM 2.0, uma proposta que considera o ambiente *on-line* 3D, para que todos possam participar e interagir com experiências virtuais de produtos, desta forma criando uma base comum de propriedade intelectual IP (*Intellectual Property*) para o desenvolvimento e inovação de produtos. A Dassault Systèmes alega que o PLM 2.0 é a maior redefinição do mercado de PLM porque permite que os usuários, de uma forma geral, participem da criação, do ciclo de vida e do aprimoramento de produtos.

As soluções 3D e PLM da Dassault Systèmes são: (1) SolidWorks para projeto mecânico em 3D - esta solução MCAD (*Mechanical CAD*) proporciona produtividade para equipes de projeto e inclui simulação, gerenciamento de dados e ferramentas de colaboração; (2) CATIA para projeto integrado de produto - como pioneira, esta solução CAD da Dassault Systèmes oferece a integração de várias disciplinas da engenharia através do projeto colaborativo; (3) SIMULIA, é uma solução para simulação realística - baseada em CAE (*Computer Aided Engineering*) - que tem a proposta de oferecer às engenharias a inovação acelerada de seus produtos, redução de protótipos físicos e menores custos na melhoria da confiabilidade e segurança de produtos; (4) DELMIA para manufatura digital e produção - este solução tem o propósito de oferecer para todos os envolvidos com a produção, desde fornecedores até operadores de chão-de-fábrica, experiências realísticas de visualização e simulação 3D que envolvem os reais sistemas de produção; (5) ENOVIA - é a solução Dassault Systèmes que forma a base para a colaboração das definições do produto e assegura, apoiada no conceito de inovação colaborativa global, que todas as equipes envolvidas compartilhem as mesmas informações - “*a single version of the truth*”; (6) 3DVIA - esta solução, com base no PLM 2.0, tem a proposta de proporcionar experiências realísticas em 3D (*3D Lifelike Experiences*) para comunidades digitais, ou seja, envolve usuários, profissionais e consumidores.

3.1.1 Visão Dassault Systèmes sobre Manufatura Digital e Simulação

No final de 2009 a Dassault Systèmes lançou no mercado um novo livro intitulado “Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation”. Na obra, elaborada em parceria com a SOGETI High Tech, uma empresa de origem também francesa, fica fácil identificar a visão de ambas as empresas sobre o desenvolvimento da manufatura digital e simulação. A Dassault Systèmes deixa claro que, com os avanços da manufatura digital e simulação, existem novas oportunidades para - eficientemente e efetivamente - conduzir 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 obra retrata essa

necessidade e expressa - como foco central - o desenvolvimento e a implementação das abordagens de manufatura digital e simulação através do tempo. Traz conceitos, necessidades e problemas dentro de uma visão realística que inclui vários testemunhos de profissionais de empresas que estão empregando a simulação com o uso da manufatura digital. A obra foi escrita por: Yves Coze, com profunda experiência em PLM e vice-presidente de vendas e marketing da suíte DELMIA da Dassault Systèmes para a região sul do EMEA (Europa, Oriente Médio e África); Nicolas Kaw, gerente técnico para o departamento de simulação da Sogeti na França; Torsten Hulka, gerente de desenvolvimento de negócios PLM e *Digital Mock-up* para a Sogeti na Alemanha, onde trabalhou em diversos projetos de fábrica virtual incluindo as indústrias aeroespacial e automotiva; Pascal Sire, incentivador e com a tarefa de criar alianças estratégicas na Sogeti - sua base é na IBM Corp.; Philippe Sottocasa, especialista em soluções de simulação e líder do departamento de simulação para a Sogeti na França; e ainda Jaap Bloem, analista sênior para o VINT, o instituto de pesquisa da Sogeti.

Vale destacar a visão de Philippe Charlès, CEO DELMIA do grupo Dassault Systèmes, apresentada no prefácio da obra. Charlès (2009) diz que nas empresas de manufatura a competição se tornou tão intensa que as empresas devem aproveitar essa oportunidade para repensar a forma como os produtos são desenvolvidos e manufaturados. Comenta: - uma pesquisa realizada pelo Aberdeen Group mostra que mais de 85% do custo do produto incorre na fase de pré manufatura, o maior custo está no projeto do produto. Charlès (2009) ainda cita uma outra descoberta, a existência de três principais razões para o desenvolvimento falhar: (1) o produto não pode ser manufaturado; (2) os componentes do produto não estão prontos para a produção “*ramp-up*”; (3) a concorrência sai na frente. Charlès (2009) ressalta que, com esse cenário, a inovação é uma imposição; não apenas no nível de tecnologia mas em todos os aspectos do ciclo de desenvolvimento do produto. Charlès (2009) também cita uma outra pesquisa realizada pela Proudfoot Consulting, a qual demonstra que 37% do tempo empregado com o trabalho é improdutivo, onde 75% desse tempo está na dificuldade das empresas em tratar seus sistemas de gerenciamento operacional. Diz que a maior barreira na melhoria de produtividade está relacionada com a eficiência do planejamento e controle - nos últimos quatro anos essa área declinou para uma taxa de 46% desse tempo. Charlès (2009) deixa claro que ambas as pesquisas levam à conclusão de que as empresas devem focar mais em formas efetivas de redução de custos de manufatura e melhor planejamento de suas atividades de produção. Afirma que a manufatura digital e a simulação são os principais facilitadores para se obter tais benefícios - a manufatura digital tem a

capacidade de definir e simular como exatamente um produto será produzido em um ambiente colaborativo global. A manufatura digital possibilita que o time de engenharia de produção tenha acesso ao projeto do produto em um estágio mais cedo e também oferece uma visão clara do ambiente de produção. O resultado está em um melhor planejamento e validação dos processos de manufatura antes de um produto ser produzido.

Charlès (2009) considera que a simulação é a chave para muitas operações de negócios e está situada entre as técnicas mais aprimoradas por incluir modernos conceitos matemáticos, de tecnologia da informação e de computação gráfica. Permite um planejamento confiável onde são definidos e simulados os eventos para qualquer cenário concebível, desde materiais e condições de tempo até complexos sistemas de manufatura e processos de negócios. Charlès (2009) ainda diz que soluções colaborativas de manufatura podem ser desenvolvidas em uma velocidade desconhecida até o presente - a combinação das tradicionais simulações CAD com o fluxo de processos de negócios está agora consolidada em uma nova forma: a manufatura digital.

A obra “Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation” expõe o pensamento da Dassault Systèmes em relação à manufatura digital e simulação. Traz uma visão realística da manufatura digital e simulação, os desafios, os benefícios e uma visão de futuro. Logo na introdução faz uma analogia trazida do século passado e denominada “*From Taylor-Made to Tailor-Made*” - que dá o sentido de feito por Taylor para feito sob medida. A proposta é destacar que os princípios estabelecidos na monografia “*The Principles of Scientific Management (1911)*” de Taylor permanecem válidos até os dias de hoje. Taylor, em suas próprias palavras, disse: “A análise dos processos elementares do trabalho da manufatura com base em metodologias científicas proporciona benefícios para a eficiência econômica das empresas e seus trabalhadores”. A obra deixa claro que o Taylorismo (ou administração científica) é ainda um paradigma (modelo) dominante, embora os métodos e ferramentas envolvam - de modo muito evidente - os processos computacionais e novas formas de desenvolvimento, manufatura e descarte dos produtos. O problema se tornou significativo na medida que o termo “*Taylor-made*” foi compreendido e estendido para “*tailor-made*” de uma forma sem precedentes; por exemplo, o modelo x3 da BMW pode ser combinado entre noventa mil diferentes formas.

O importante é entender que, nos dias atuais, o projeto, a simulação, a validação, a manufatura e o descarte de produtos inovativos necessitam de ações em tempo

real (“*real-time*”) e colaboração global entre pessoas, processos P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), planejamento, fornecedores externos, desenvolvimento e lançamento de produtos. Nos tempos atuais, o texto deixa claro que a necessidade do “gerenciamento científico” proposto por Taylor foi estendido para o PLM - *Product Lifecycle Management*. Segundo a visão da Dassault Systèmes, um sistema PLM robusto deve suportar uma larga gama de fatores tais como: retração econômica, pressão de preços impostos pelos consumidores e canais de venda; demanda para menores ciclos de vida de produtos; aumento da concorrência; aumento da demanda; mercados mais globalizados e o envolvimento da cadeia de fornecedores; produtos mais complexos; produtos mais populares (*commodity*); problemas ambientais e de energia; e o vasto volume de exigências sobre conformidades regulatórias envolvidas. Ainda, no texto, fica evidente que o PLM, como estratégia de negócios, deve estar fundamentado em uma única base de dados e processos - repositório de conhecimento - para produtos e mercados. A Dassault Systèmes deixa claro que o PLM é capaz de capturar as melhores práticas para reuso e oferecer visibilidade dos fluxos de trabalho e situações críticas para o gerenciamento na tomada de decisões em todos os estágios do ciclo de vida do produto.

O primeiro capítulo da obra “Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation” esclarece o “porquê” do uso da manufatura digital e simulação. Conceitua que, desde os métodos e ferramentas de produção tradicional dos anos 80, o ambiente digital tem se desenvolvido em um ritmo acelerado, passando por representações 2D (em duas dimensões), representações 3D (em três dimensões) - também chamada de “*digital mockup*” (protótipo virtual), e um estágio mais recente representado pela manufatura digital, que envolve uma suíte integrada de ferramentas para definir e simular todas as operações e recursos de manufatura no contexto de produtos e plantas de produção - a Dassault Systèmes deixa claro que a simulação digital moderna permite que engenheiros possam validar e otimizar seus processos. A ARC Advisory Group - na Figura 3.1 - representa a evolução da tecnologia do processo digital na linha do tempo.

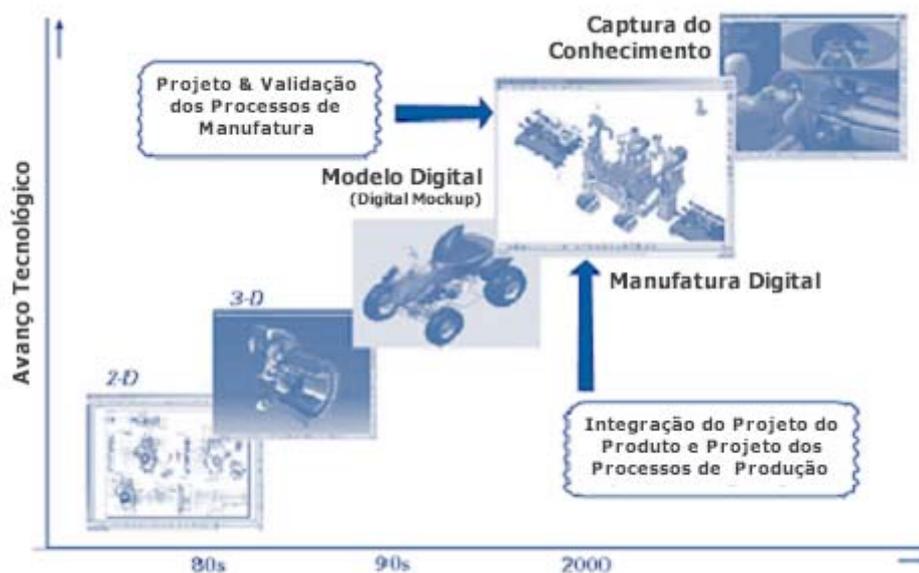


Figura 3.1 – Evolução dos processos “*design-to-build*” desde os anos 70 até a captura do conhecimento no moderno PLM nos dias atuais. Fonte: ARC Advisory Group.

Com os novos métodos e ferramentas da manufatura digital, as indústrias de manufatura perseveram na otimização dos processos de produção, na redução de tempo do lançamento de produtos e na redução de custos dos sistemas de produção. A obra deixa claro que por toda parte as empresas estão, de um modo progressivo, transformando seus processos de manufatura por integrar fábricas físicas com o projeto virtual e validação, ou integrar fábricas físicas com fábricas virtuais, também chamadas de “*Digital Factory*” - fábrica digital. É interessante esclarecer que o termo “*digital manufacturing*” (manufatura digital), segundo a Dassault Systèmes, enfatiza a integração digital de processos, métodos e soluções, enquanto que “*Digital Factory*” - conforme a Figura 3.2 - denota um ambiente específico onde, em condições ideais e com base no ciclo de vida dos produtos, a manufatura digital e a simulação são aplicadas.

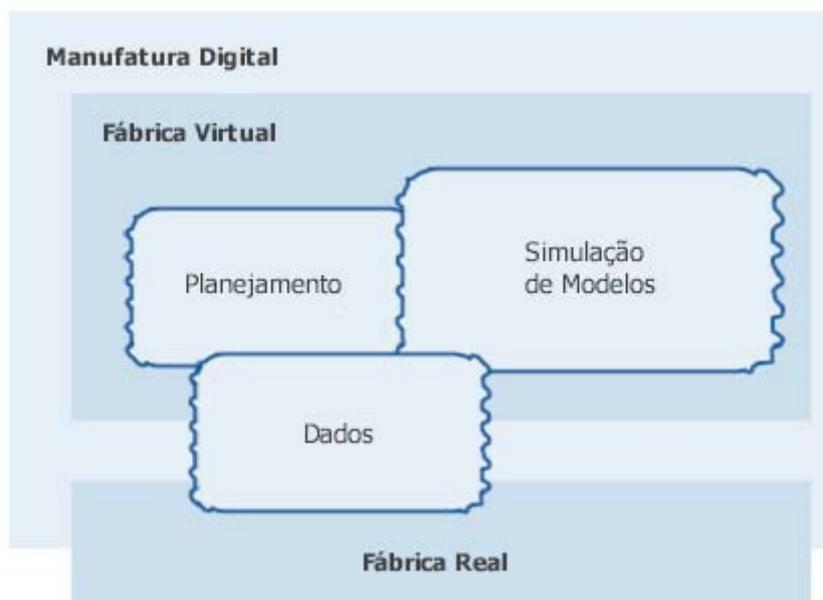


Figura 3.2 – Regra de planejamento, modelos, simulação e dados na fábrica digital (*Digital Factory*), atrelando a fábrica real e a fábrica virtual. Fonte: Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation.

Ao consolidar (*merging*) a simulação virtual com todos os tipos de sistemas de informação em um ambiente PLM dinâmico, as empresas de manufatura estão caminhando para um total controle do ciclo de vida de produtos, que se posiciona além das aplicações isoladas de PDM, ERP, CAD, CAE, CIM, MES e outras. A Dassault Systèmes ainda comenta que entre os segmentos aeroespacial e defesa, automotivo, construção naval, maquinários, equipamentos industriais, *high-tech* (alta tecnologia), eletrônica e telecom (telecomunicações), estão as empresas mais tradicionais na adoção da manufatura digital, e que novos mercados estão surgindo para essa aplicação a exemplo de bens de consumo, alimentos e bebidas, energia e utilidades públicas (*utilities*), plantas químicas e refinamento de óleo e gás (*oil & gas*). Ainda observa que os principais benefícios das soluções de manufatura digital são: melhor planejamento, melhor qualidade do produto, menor “*time-to-market*”, uma rápida produção “*ramp-up*”, melhor equalização do tempo e custo de produção, inovação, menos alterações e erros, e um menor custo total do produto. A Figura 3.3 apresenta uma comparação entre a tradicional abordagem de manufatura, sem o uso de simulação, e o uso da fábrica digital. Pode-se verificar na figura que a fábrica digital traz redução de esforços e um substancial aumento de rentabilidade (*yields*) em termos de “*time-to-market*”, recursos e eliminação de alterações futuras.

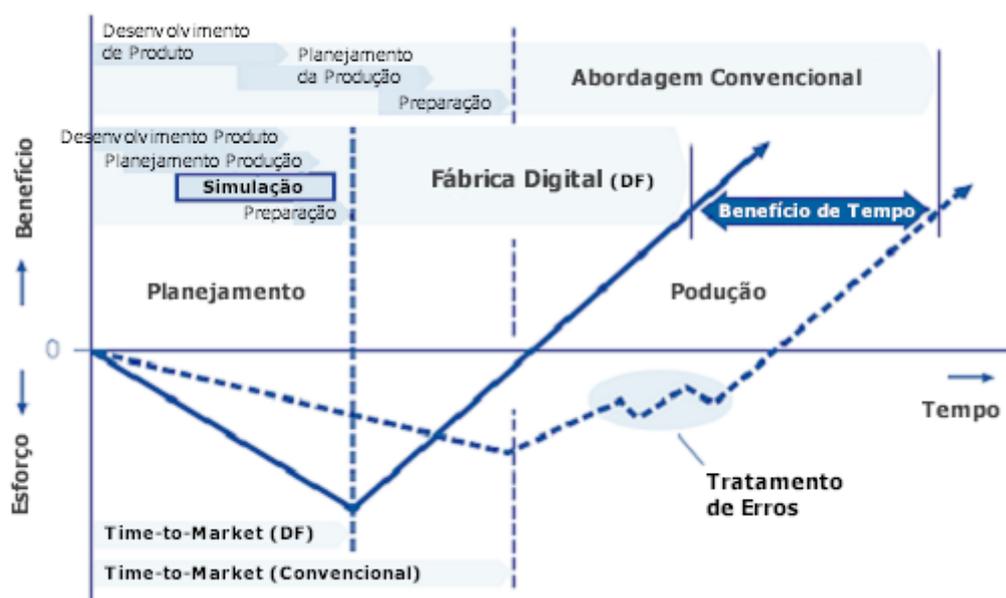


Figura 3.3 – Comparação entre a tradicional abordagem de manufatura, sem o uso de simulação, e o uso da fábrica digital. Fonte: Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation.

Com o uso da simulação digital observa-se um menor tempo nas etapas de desenvolvimento, planejamento e preparação (validação) de produtos e processos, e vantagens significativas na economia de tempo de produção.

Um outro destaque importante, que a Dassault Systèmes considera um ponto principal, é que a relevância fundamental da simulação se apóia na substituição da validação física de produtos pela validação virtual. A Figura 3.4 mostra que esta abordagem não somente reforça a validação virtual como também, como já dito, diminui os custos de modificação, assim como aumenta a possibilidade de melhorias. A Dassault Systèmes afirma que as empresas que são capazes de transformar a validação física em virtual conseguem economia de tempo, baixos custos e melhores experiências.

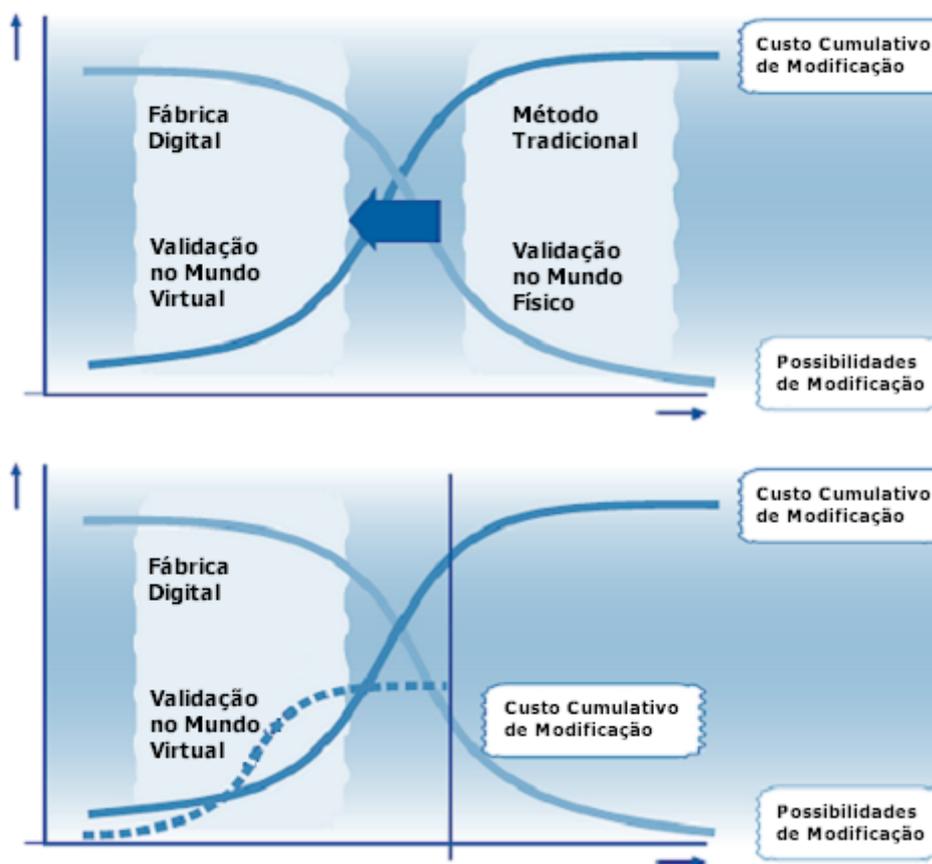


Figura 3.4 – Validação do produto – mundo físico versus mundo virtual – considerando tempo, custo de modificação e possibilidades de modificação. Fonte: Dassault Systèmes.

Ainda na obra “Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation”, a Dassault Systèmes apresenta alguns benefícios comprovados sobre a manufatura digital e simulação. Diz que a simulação é crucial para o desenvolvimento da atual manufatura e revela que o valor fundamental da simulação moderna está explicitamente expresso no guia “German Digital Factory guideline VDI 4499”. O guia declara o seguinte:

A Fábrica Digital é um termo genérico para uma abrangente malha (*network*) de modelos e métodos digitais para simulação e visualização 3D. O propósito é o planejamento holístico, realização (produção), controle e melhoria de tendências para todos os processos e recursos importantes da fábrica em sintonia (*connection*) com o produto.

A Figura 3.5 apresenta de uma maneira abrangente - e que não são todas - várias formas de simulação na manufatura digital e, inclusive, inclui o sistema MES - *Manufacturing Execution System*, que é destaque desta pesquisa.

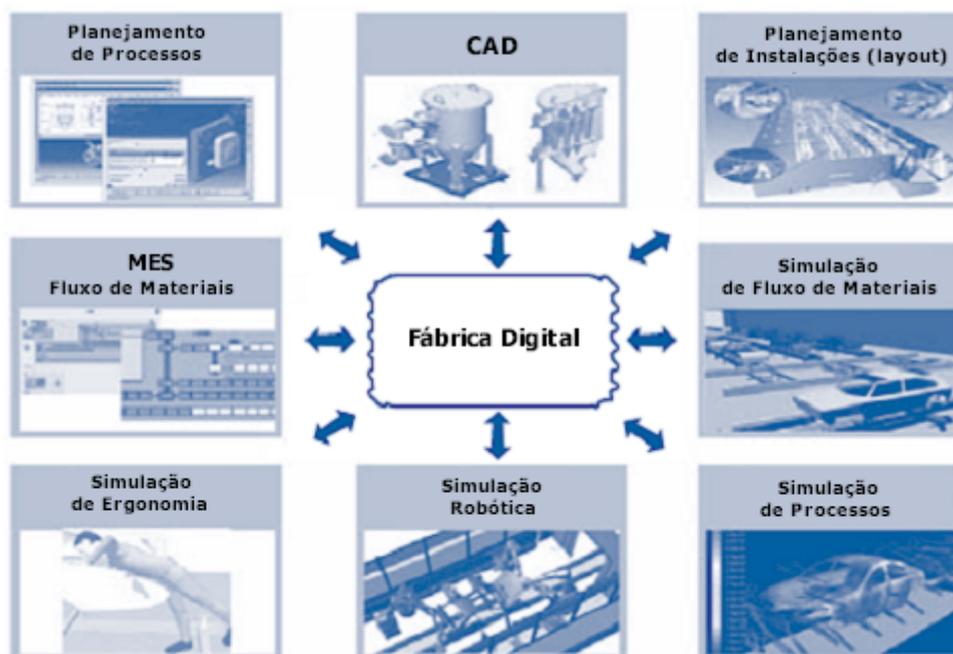


Figura 3.5 – Várias formas de simulação na manufatura digital. Fonte: Dassault Systèmes.

A Dassault Systèmes procura deixar claro que as várias ferramentas de software para uma abordagem avançada de Fábrica Digital devem estar interligadas através de um sistema de gerenciamento de dados central - o que a CIMdata chama de cPDM e Grieves (2006) de CPD - o qual constitui o núcleo (*core*) das soluções integradas, tudo dentro do “*spectrum*” (abrangência) do produto - isso garante que todos os resultados do planejamento estejam sempre atualizados e disponíveis a todo tempo e para todos. A Dassault Systèmes ainda reforça que um sistema de realidade virtual facilita a visualização dos resultados de planejamento e, como conseqüência, a comunicação interdisciplinar entre vários especialistas - que inclui as diferenças de terminologia.

O texto afirma que, de acordo com a empresa de consultoria CIMdata, as organizações que usam as tecnologias da manufatura digital podem, em média, reduzir o “*time-to-market*” (entrega de produtos) cerca de 30%, reduzir as modificações de projeto cerca de 65% e reduzir o tempo gasto nos processos de planejamento de manufatura cerca de 40%. O que é chamado de “*production output*” (relação de tempo de produção) pode ser incrementado na casa dos 15% com todos os custos de produção que incorrem, que também

são reduzidos na ordem de 13%. E ainda, a Dassault Systèmes evidencia os principais benefícios com o uso da manufatura digital e aponta o projeto de produtos e ferramental, o planejamento de processos e as operações de planejamento e produção como as áreas mais beneficiadas. Ao revisar e organizar os objetivos, reconstruir e repensar as práticas de negócios, a Dassault Systèmes recomenda que as empresas de manufatura explorem o processamento integrado de dados, reconfigurando as atuais linhas de montagem, no projeto de novas fábricas e pensar melhor sobre o uso de soluções de manufatura digital e o uso da colaboratividade, que significa trabalhar em grupo ao mesmo tempo e com as mesmas informações atualizadas.

A Dassault Systèmes ainda conota que, para qualquer tipo de indústria, a manufatura digital moderna pode ser ilustrada - conforme mostra a Figura 3.6 - em quatro passos: cenário, estratégia, processos de negócios e sistemas de informação. Ressalta que é muito importante uma adequada correspondência entre o cenário e a estratégia, pois a relação entre esses dois passos é o marco fundamental - ou referência - do planejamento. Todos os procedimentos dessa relação serão convertidos em um conjunto estruturado de processos de negócios e serão enriquecidos com a aplicação dos sistemas de informação, a exemplo dos sistemas que fazem parte da abordagem PLM.

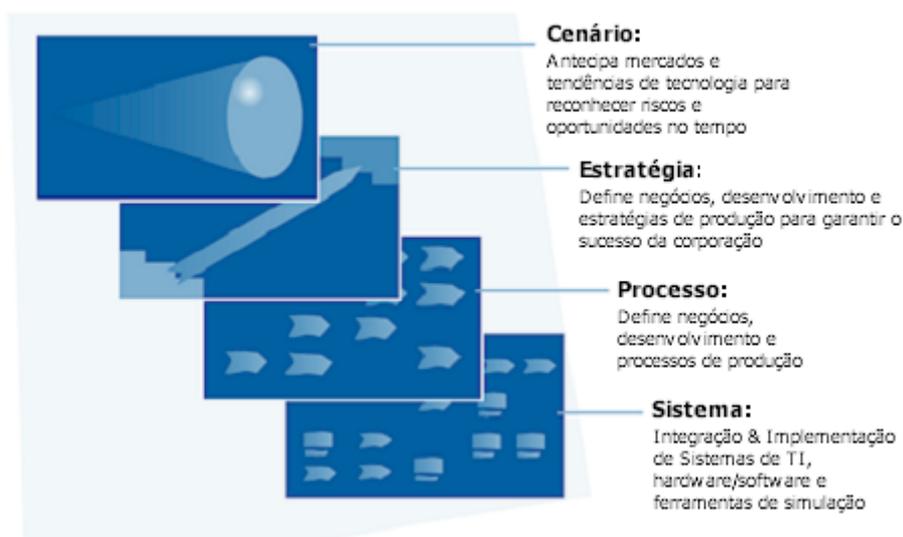


Figura 3.6 - Manufatura digital: modelo de quatro passos. Fonte: Dassault Systèmes.

O PLM está focado no desenvolvimento digital, é o elo entre os sistemas CAD (para o desenvolvimento digital de produtos), a manufatura digital (para o planejamento digital de processos) e a simulação (para a análise digital de produtos e processos), e tem uma forte ligação com os sistemas ERP para a gestão física da manufatura moderna, que inclui a cadeia de fornecimento (*supply chain*).

Segundo a Dassault Systèmes, a Figura 3.7 define o processo PLM ideal denominado “*design-to-build*” (do projeto à produção), onde são posicionados os quadrantes de projeto, engenharia de manufatura (processos), ERP e produção. A empresa define que os tradicionais “*links*” verticais entre projeto e engenharia de processos, e entre ERP e produção devem ser integrados.

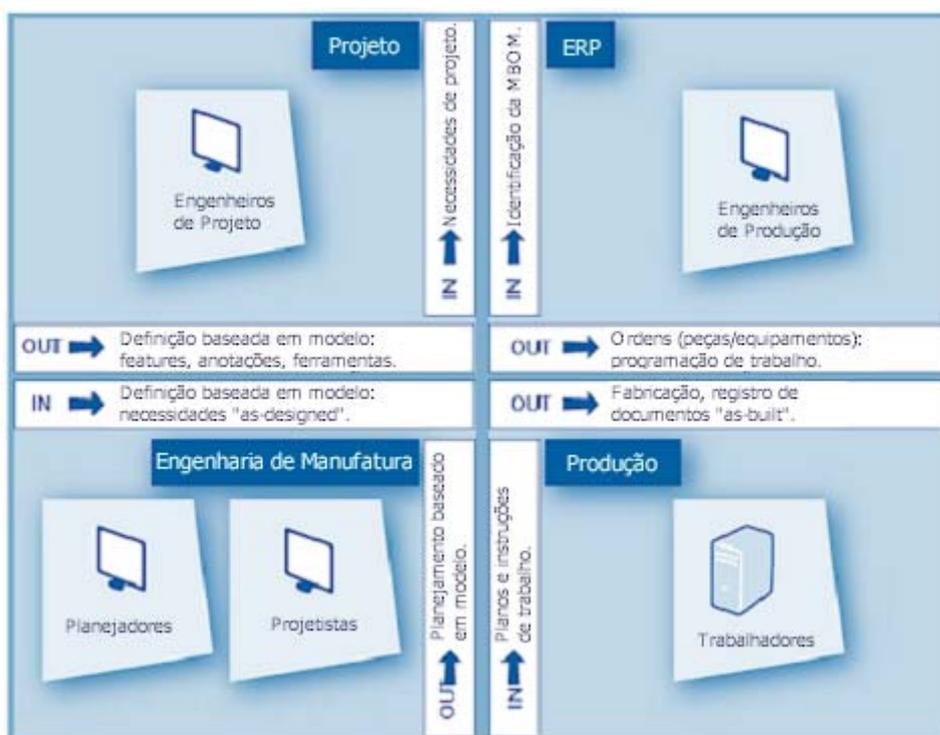


Figura 3.7 - Processo PLM ideal da Dassault Systèmes denominado “*design-to-build*”. Fonte: Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation - (Adaptado).

A saída da informação a partir de um planejamento baseado em modelo, com base no quadrante da engenharia de manufatura (engenharia de processos) deve estar, segundo

a Dassault Systèmes, relacionada com a lista de materiais modular, que inclui peças padrões, no lado do quadrante ERP, assim como com os planos de produção e instruções de trabalho no lado do quadrante produção. O cenário pode ser realizado, por exemplo, com a integração das ferramentas Dassault Systèmes como as soluções CATIA, ENOVIA, DELMIA, 3DVIA para os quadrantes de projeto e engenharia de manufatura e SAP, Intercim e 3DVIA para os quadrantes de ERP e produção.

De tudo chega-se à conclusão de que a manufatura digital ajusta os critérios pelos quais o planejamento e a execução da manufatura são integrados. Leva em consideração a consistência dos dados, as informações associadas ao produto e ao processo, e a propulsão de todos os processos correspondentes. Além do mais, ferramentas de simulação e validação integradas asseguram a qualidade e confiança de produtos, assim como também a rentabilidade e eficiência operacional das empresas de manufatura. Por fim, a Dassault Systèmes afirma que a manufatura digital também é conhecida por vários nomes: *Manufacturing Process Management* (Gerenciamento de Processos de Manufatura), *Collaborative Manufacturing Process Management* (Gerenciamento Colaborativo de Processos de Manufatura), e *Computer-Aided Process Planning* (Planejamento de Processos Assistido por Computador). No texto, a empresa de consultoria CIMdata destaca a abrangência da manufatura digital da seguinte forma:

são soluções que apóiam a colaboração do planejamento dos processos de manufatura entre as disciplinas da engenharia, desde o projeto do produto até a manufatura. As soluções usam as melhores práticas de processos e permitem acessar, de uma forma completa, as definições do produto que incluem o ferramental e os projetos de processos de manufatura. A manufatura digital é, na prática, uma suíte integrada de ferramentas que trabalha com os dados da definição do produto para apoiar o projeto de ferramentas, o projeto de processos de manufatura, a visualização, simulação e outras análises necessárias para otimizar (melhorar) os processos de manufatura.

Ainda a Dassault Systèmes, como pretexto, diz que a Fábrica Digital deve ser vista com um conceito superior que, de uma forma fácil, integre todos os recursos da manufatura digital e simulação incluindo o desenvolvimento na cadeia de fornecedores e as redes de produção (fornecedores de primeira camada, segunda camada etc.). A primeira fase da Fábrica Digital deve focar na engenharia integrada do produto, a segunda fase no projeto e otimização da planta, de forma colaborativa e concorrente ao desenvolvimento do produto, e a terceira fase da Fábrica Digital deve focar no planejamento e controle das operações de produção.

Na visão da Dassault Systèmes, quanto à relação entre PLM, MES e ERP, o software PLM projeta, simula produtos e seus processos de manufatura, enquanto o software ERP envia os dados para as máquinas (para a produção), informando sobre as transações entre clientes, ordens e fornecedores. O software MES controla as informações de ambos, PLM e ERP. Entretanto, a Dassault Systèmes diz que esta integração está imatura e nublada, a visão de integrar projeto, produção, a empresa, a cadeia de fornecimento e a comunicação “*wireless*” (sem fio) entre sensores de máquinas, tudo neste momento está caminhando para um contínuo aprimoramento. Afirma que, embora a tecnologia exista, o tipo ideal de Fábrica Digital está ainda muitos anos distante; tudo é muito complexo, caro e com uma curva de aprendizado íngreme - declara que o grau de integração padronizada nos dias de hoje está na ordem de 20%. A Dassault Systèmes também comenta que poucas companhias constroem novas fábricas, desta forma a “fábrica do futuro” - como a Dassault Systèmes denomina essas novas fábricas - tem que trabalhar com as fábricas imperfeitas de hoje e cada um, a seu modo, terá que integrar ERP, MES, PLM e outros softwares em seu próprio ambiente e entre os parceiros da cadeia de fornecimento, sem falar das duvidosas conexões sem fio (*wireless*).

Dick Slansky da ARC Advisory Group, no texto, comenta que a adoção do PLM pela indústria automotiva tem custado bilhões de dólares além dos custos de licenças de uso; como uma adoção quase que global, essa indústria - comenta Slansky - não tem feito um bom trabalho no sentido de abastecer as informações pós-venda sobre o desempenho e o retorno de manutenção no repositório de dados dos sistemas PLM. Deixa claro que essas empresas não estão aproveitando o potencial do PLM. Ainda comenta que se o PLM tem conhecimento sobre as deficiências e falhas, projetos e instruções de manufatura, os sistemas de supervisão e aquisição de dados SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*, assim como os sistemas MES podem ser conciliados para uma abordagem do PLM mais holística.

Neste momento, quanto à adoção do PLM, as grandes empresas de manufatura dos segmentos automotivo e aeroespacial posicionaram seus alicerces para a Fábrica Digital no sentido de encurtar o tempo de desenvolvimento e se manterem competitivas. O mesmo está acontecendo com os fabricantes de eletrônicos de consumo, assim como nos fabricantes de bens não duráveis - a gigante Procter & Gamble é um exemplo de implementação de PLM. Na visão da Dassault Systèmes o PLM, de uma forma lenta mas segura, está se tornando cada vez mais popular, com soluções mais acessíveis e também com foco no “*mid-market*” - nas

médias empresas. Afirma que o PLM não pode ser entendido apenas como um desafio de TI e sim como um desafio de negócios. O PLM representa a transformação das estratégias de negócios com base no acesso público de um único repositório de conhecimento, dados e processos que estão relacionados com o produto. O PLM apóia o modelo da Fábrica Digital que está focada no projeto de otimização da planta e envolve a lógica de integração de inúmeros domínios essenciais, desde recursos de bases de dados até o projeto e layout de fábricas, otimização de fluxos, instalações, simulação de processos, balanceamento de linhas, manufatura de peças, simulação de células de trabalho robotizadas, programação “*offline*” de modelos baseados em PLC - *Programmable Logic Controller* e simulação de recursos humanos. A Figura 3.8 exibe - para a produção - um “*loop*” (ciclo) de retroalimentação onde podem ser observados o controle operacional e a otimização.

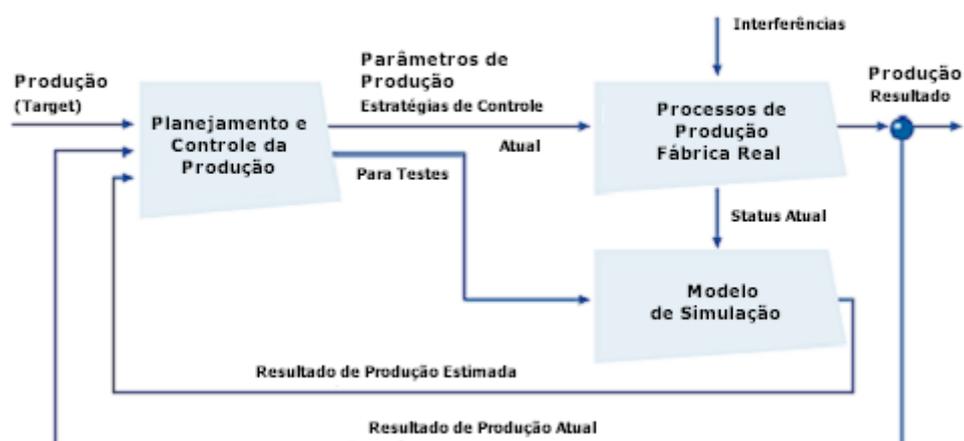


Figura 3.8 - “*Loop*” (ciclo) de retroalimentação - controle operacional e otimização. Fonte: Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation.

O texto ainda deixa claro que o planejamento operacional da produção requer o seqüenciamento, a programação e roteirização das ordens para disponibilizar os recursos de produção - alocar ordens para o chão-de-fábrica na disposição de linhas únicas, linhas paralelas, múltiplas linhas, assim como dividir ou unir linhas, exige informações detalhadas, regras e estratégias complexas. Nesse sentido, a Dassault Systèmes afirma que o gerenciamento da produção na Fábrica Digital necessita de um ambiente de chão-de-fábrica completo e escalável (onde se pode adicionar recursos) para melhorar a agilidade, capturar o

conhecimento operacional e aumentar a eficiência. Esta integração conecta o planejamento de processos com o nível de controle de chão-de-fábrica, desde o ambiente de execução da manufatura MES até os processos em tempo real de monitoramento e controle com os sistemas SCADA. A obra ainda faz menção ao “*Virtual Factory Framework*” (Estrutura para uma Fábrica Virtual) do German Fraunhofer Institute que, baseado em quatro pilares, define o estreito relacionamento entre a próxima geração da fábrica virtual e as instalações de produção física. O documento afirma que o tempo de “*ramp-up*” será reduzido na ordem de 30%, enquanto que os processos de projeto, reconfiguração e re-engenharia serão reduzidos à metade.

3.1.2 Suíte Delmia da Dassault Systèmes

DELMIA é o acrônimo de “*Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application*” (Aplicação Interativa de Manufatura Enxuta na Empresa Digital). É uma solução PLM da Dassault Systèmes para a produção virtual e faz parte do portfólio de produtos que também engloba as soluções CATIA, ENOVIA, SIMULIA e 3DVIA. A proposta da Dassault Systèmes com o DELMIA é entregar um ambiente para sistemas de manufatura digital com a finalidade de otimizar processos de produção antes da execução física. A tecnologia DELMIA permite que empresas de manufatura interajam com os processos de produção ainda na fase de projeto e bem antes da produção real. Ainda, dentro da proposta e apelo comercial, a Dassault Systèmes afirma que o DELMIA possibilita que engenheiros, gerentes e acionistas possam visualizar em 3D o ambiente real de produção com a habilidade de avaliar cenários “*what-if*” (o que acontece se), fazer alterações, identificar e eliminar erros custosos de produção, assim como erros de projeto.

O DELMIA apresenta quatro domínios não necessariamente em seqüência - no conceito de produção virtual - para desempenho de produção:

- ***Process & Resource Plan Definition (Definição de Planejamento de Processos e Recursos)*** ou também chamado de *DELMIA Process Detailing & Validation* (Detalhamento do Processo e Validação DELMIA) - Aqui a proposta é empregar a estrutura e diagramas das soluções de

planejamento de processos nas aplicações específicas de disciplinas de manufatura, assim como verificar as metodologias de processos com a atual geometria do produto e definir, dentro de um ambiente 3D, os processos com um grande nível de detalhes. Inclui as soluções do DELMIA *Human* para validar o desempenho de recursos humanos (*workforce*) e a interatividade com os processos definidos. Ainda, este domínio abrange a validação de processos em 3D para: produção e manutenção; distribuição de pontos de solda; seqüências de montagem; layout de fábricas e células de produção; e operações de máquinas.

- ***Factory Definition & Simulation (Definição e Simulação de Fábrica)*** - Este domínio - também na forma de uma suíte de soluções - tem a proposta de oferecer ferramentas para desenvolver, criar e implementar recursos, rotinas de aplicação e programação mecânica, tudo integrado com as soluções “*Process Planning and Process Detailing & Validation*”. Pode-se, dentro desse conjunto de soluções, encontrar recursos tais como robótica, ferramental, instalações (*fixtures*), maquinários, automação de chão-de-fábrica e ergonomia, tudo inserido dentro de um completo cenário de manufatura. Neste domínio pode-se simular: fluxo de fábrica; *setup* (configuração) de células robotizadas e OLP - *Offline Programming* (Programação *Offline* de Robôs); máquinas CNC; e cenários de realidade virtual.
- ***Production Management (Gerenciamento da Produção)*** ou também denominado DELMIA *Process Planning* (Planejamento de Processos DELMIA) - A proposta deste domínio é a de oferecer um abrangente ambiente de suporte para o planejamento de processos e recursos de produção. Como resultado, e apoiado na concepção do desenvolvimento de produto, são apresentados diagramas de processos com o propósito de oferecer uma visão clara das seqüências e *links* entre processos e recursos. Este domínio atende as seguintes tarefas de planejamento: elaboração de layout; medidas de tempo; planejamento de recursos e processos; avaliação de produtos; e análise de custos.

- ***Digital Manufacturing Foundations (Fundamentos/Alicerce da Manufatura Digital)*** - A proposta da Dassault Systèmes com este domínio tem o objetivo de proporcionar - dentro do conceito de manufatura digital colaborativa - uma ampla gama de soluções para atender desde atividades para um simples dispositivo até o fluxo de produção de uma empresa estendida (que abrange inclusive toda a cadeia de fornecimento). É possível assistir o planejamento de processos, compor estimativa de custos, e tratar uma série de outros assuntos como layout de fábrica, ergonomia, robótica, maquinário, inspeção, simulação de fábrica e ainda várias outras necessidades que a execução da produção exige. De uma forma mais sucinta, a proposta do DELMIA - com este domínio - é oferecer soluções, desde o conceito de implementação, que permitam às empresas de manufatura o aumento de produtividade, menores custos, melhor qualidade e trazer o lançamento de seus produtos para o mercado de uma forma mais rápida. Ainda, a Dassault Systèmes deixa claro que as soluções da suíte de aplicações DELMIA são interoperáveis - comunicam-se entre si - dentro de um modelo de dados que é chamado de PPR - *Product, Process and Resources* (Produto, Processo e Recursos). Isso é possível por usar o DELMIA *Manufacturing Hub* (Concentrador de Dados de Manufatura DELMIA), responsável por um ambiente de engenharia concorrente e colaborativa, assim como por um ambiente de manufatura que usa uma base de dados única e comum.

Todos os aspectos apresentados são atuais e fundamentados na família DELMIA V5, porém em junho de 2010 e após o lançamento das versões V6R2010, as quais precedem as atuais, a Dassault Systèmes lançou a família de soluções V6R2011, com base na plataforma de soluções PLM 2.0 como parte de uma estratégia que ela chama de “*Lifelike Experience*” (Experiências Realísticas). A proposta dessa família de soluções está embasada na criação colaborativa, inovação colaborativa e na aproximação com a academia através da suíte “*V6 Academia*”. O conceito PLM 2.0 ou o que a Dassault Systèmes chama de “*PLM Online for All*” (PLM *On-line* para Todos), permite que todos os usuários imaginem, desenvolvam, compartilhem e experimentem os produtos em uma linguagem 3D universal com a finalidade de apoiar a inteligência coletiva de comunidades *online*. A proposta da V6 - dentro de uma plataforma aberta e escalável baseada na WEB (*web-based*) - é trazer para a

vida real o verdadeiro conhecimento do PLM, ou seja, o verdadeiro conhecimento do ciclo de vida do produto, desde a idealização, engenharia, produção, uso, manutenção até o descarte desses produtos - tudo engajado dentro de práticas de inovação colaborativas globais. Fazem parte do lançamento as soluções: 3DVIA V6R2011; ENOVIA V6R2011; CATIA V6R2011; SIMULIA V6R2011; DELMIA V6R2011; e V6 for Academia.

Dentro do contexto apresentado e com base nos domínios de aplicação, o atual portfólio DELMIA V6R2011 - como módulos de comercialização - é apresentado para o mercado com o jargão “*Digital Manufacturing and Production*” (Manufatura Digital e Produção) e tem a proposta de oferecer um ambiente interativo PLM em 3D para criar e compartilhar experiências de manufatura baseadas na propriedade intelectual IP (*Intellectual Property*) - ou seja, no conhecimento. Entre os seus módulos estão: (1) *Manufacturing Planning* (Planejamento da Manufatura) - com a proposta de gerar e otimizar a produção sob pedido (*build-to-order*) assim como gerar e otimizar processos de manufatura baseados em produção enxuta (*lean*). Este módulo tem a propriedade de estender as soluções de planejamento de processos e recursos, dentro de um abrangente ambiente 3D, para toda a cadeia de fornecimento; (2) *Plant and Resources Engineering* (Engenharia de Planta e Recursos) - este módulo fornece ferramentas para definir e otimizar, ao mesmo tempo, os ativos de manufatura com o planejamento da manufatura, proporcionando o que a Dassault Systèmes chama de modelo PPR (*Product, Process, Resources*) caracterizado como exclusivo da suíte DELMIA; (3) *Prog & Control Engineering* (Engenharia de Programação e Controle) - este módulo oferece um conjunto de soluções que permite virtualizar programas de produção, validar e simular processos de manufatura para o planejamento virtual das instalações de produção.

Em abril de 2010 a empresa de consultoria CIMdata produziu um *white paper* denominado “Dassault Systèmes’ V6 Platform TCO” (TCO da Plataforma V6 da Dassault Systèmes), entendendo por TCO (*Total Cost of Ownership*) o “Custo Total de Propriedade”, conceito que reúne todos os custos envolvidos em um determinado investimento. O artigo da CIMdata tem o foco na melhoria do retorno das empresas em relação aos investimentos em PLM e procura deixar claro que o desenvolvimento da plataforma V6 - que inclui entre todas as soluções de PLM da Dassault Systèmes a suíte DELMIA - está entre as melhores arquiteturas de PLM do mercado, principalmente por reduzir o TCO. Entre as principais características para essa afirmação estão a aplicação da arquitetura orientada a serviços SOA

(*Service-Oriented Architecture*) - que permite que as soluções PLM da Dassault Systèmes sejam mais flexíveis em termos de integração com outras iniciativas de TI, o armazenamento e gerenciamento de dados consistentes, a integração entre todos os produtos PLM da Dassault Systèmes, ferramentas que auxiliam a geração e transferência de dados, ferramentas de configuração e uma consistente interface com o usuário.

O artigo da CIMdata ainda diz que o principal impacto da V6 em relação ao TCO é que esta versão permite uma contínua evolução dos processos de negócios das empresas, sem a interrupção do fluxo de trabalho. Em outras palavras, pode-se atualizar todos os modelos de dados, os esquemas das bases de dados públicas e as interfaces de usuários enquanto as soluções PLM estão rodando (em funcionamento). Este critério reduz os custos de manutenção e minimiza as interrupções de trabalho, influenciando diretamente no custo total de propriedade TCO das aplicações DELMIA e das demais aplicações PLM da Dassault Systèmes. Ainda, a redução do TCO é atribuída à consistente capacidade de armazenamento e gerenciamento de dados - que é comum em toda a suíte PLM da Dassault Systèmes - simplificando a implementação das soluções e o progresso das operações. A disponibilidade do que é chamado de “*single version of the truth*” (versão única da verdade) - conforme testemunhos de usuários - não somente tem impacto na colaboração dinâmica, como também no ganho de muitos anos de desenvolvimento e possibilidade de lucros enormes na produção. Isso porque no passado as arquiteturas PLM não eram adequadas para a integração e compartilhamento global de dados. A Figura 3.9 mostra como a arquitetura V6 da Dassault Systèmes - que inclui a suíte DELMIA - sustenta a concentração e distribuição de dados.

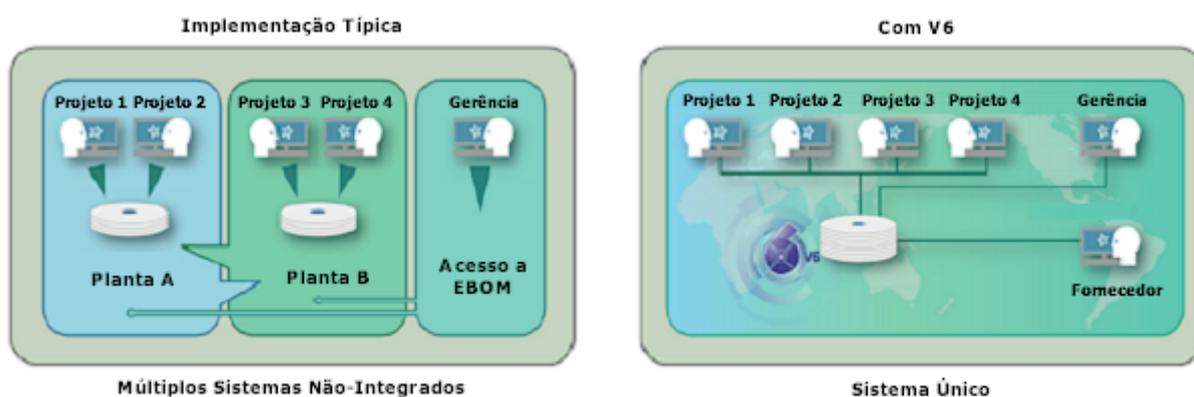


Figura 3.9 - Arquitetura V6 da Dassault Systèmes - Concentração e distribuição de dados.

Fonte: Dassault Systèmes' V6 Platform TCO.

A concentração - ou infra-estrutura física central - de dados na V6 oferece acesso através de interfaces simples e em tempo real. Isso permite que os usuários do DELMIA V6, assim como das outras soluções PLM da Dassault Systèmes, possam acessar e visualizar uma simples conferência de lista de materiais com componentes armazenados e manipulados a partir de vários sistemas incluindo o próprio V6, assim como também dos sistemas SAP, Siemens, PTC e outros sistemas legados. A proposta é possibilitar o acesso ao ambiente de desenvolvimento do produto como um todo e em tempo real, sem replicações de dados, com isso proporcionando importantes benefícios em termos de economia de tempo, compartilhamento da informação e redução de custos - tudo para evitar a troca de dados não sincronizada e respectivos erros, as quais normalmente são realizadas através das redes de longa distância WAN (*Wide Area Network*).

Na prática, e como exemplo, os engenheiros de projeto usam o CATIA V6 na mesma plataforma V6 do ENOVIA. Isso possibilita acesso direto aos dados de projeto, pois o ENOVIA proporciona um ambiente colaborativo de armazenamento de dados do produto consistente e único, a partir do qual todos os dados relacionados com o produto podem ser acessados por outras aplicações PLM da Dassault Systèmes, a exemplo do CATIA, SIMULIA e DELMIA. O ENOVIA é o “*backbone*” (estrutura física central) para todos os produtos, processos, recursos e dados de simulação PLM da Dassault Systèmes, permitindo uma total colaboração multi-disciplinar.

À primeira vista, ter um concentrador de dados parece ser antiprodutivo do ponto de vista de um TCO. No artigo, a CIMdata declara que esse tipo de solução é oposta quando se pretende maximizar os investimentos em propriedade intelectual IP - a proposta da Dassault Systèmes, segundo a CIMdata é evitar a migração de dados. O artigo também comenta sobre os “*Accelerators*” (Aceleradores), cujo objetivo é o de melhorar o tempo de implementação das soluções V6 - que inclui o DELMIA - através de soluções de processos de negócios (*business processes*) e melhores práticas para segmentos específicos de indústrias. Existem até o momento dezesseis aceleradores disponíveis para uma abrangente gama de processos de negócios que incluem as seguintes indústrias: aeroespacial, *high-tech*, semicondutores, dispositivos biomédicos, vestuário e moda, e bens de consumo.

3.2 SIEMENS PLM SOFTWARE

Com sede em Munich (Alemanha), as ações da Siemens AG estão entre as oito mais bem cotadas nas bolsas de valores da Alemanha, Suíça, Londres e Nova Iorque. A empresa opera em uma abrangência de indústrias, desde tecnologia da informação e comunicação, até automação e controle, energia, transportes, área médica e iluminação. A Siemens Industrial Automation Group (IA) - com sede em Nuremberg (Alemanha) - oferece soluções para manufatura e processos industriais, assim como soluções para instalações elétricas. Inclui ainda soluções de máquinas-ferramenta e soluções de automação para instalações de fábricas automotivas e plantas químicas. A Siemens IA também oferece soluções em software para interoperar produção e gerenciamento (integração vertical e horizontal de TI) e otimizar processos de produção. Por sua vez, a Siemens PLM Software (antiga UGS PLM) é uma divisão da Siemens Industrial Automation (IA) - que faz parte da Siemens AG - e é um fornecedor global de soluções de software e serviços PLM com mais de 5,5 milhões de licenças (assentos) e 56.000 usuários em todo o mundo. No portfólio de clientes da Siemens PLM Software estão clientes como Boeing, GM, Toyota, Procter and Gamble (P&G), Intel, Samsung e Target.

O portfólio da Siemens PLM Software inclui soluções CAD, CAE, CAM e PDM que, entre as várias suítes de produtos, estão: (1) o Teamcenter - é a linha de produto, que apoiada em ambiente nativo WEB, dá às empresas de manufatura a possibilidade de capturar, gerenciar, acessar, integrar e promover diversos tipos de informações de produção, as quais incluem as definições e configurações de produto, dados de planejamento, dados de engenharia, peças e documentos; (2) o NX - o portfólio NX inclui os produtos I-deas NX Series, NX Nastran e Imageware para atender as soluções CAD/CAM/CAE de engenharia de produto; essas soluções trabalham em um 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 que apóiam os processos de tomada de decisão; (3) o Tecnomatix - baseado em décadas de experiência e em ambientes específicos de manufatura, tem como proposta oferecer uma abrangente suíte de soluções para o planejamento digital de processos de produção, desde a engenharia de processos, ou engenharia de manufatura conforme denomina a Siemens PLM Software, até a execução de

chão-de-fábrica em uma estrutura integrada e interoperável; (4) o Velocity Series - esta suíte de soluções PLM é escalável e está focada no “*mid-market*” (médias empresas); entre as soluções do Velocity Series 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).

3.2.1 Visão Siemens PLM Software sobre Manufatura Digital e PLM

A Siemens PLM Software apresenta em seu *website* comercial (http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/tecnomatix/library.shtml) uma rica biblioteca de “*white papers*”, o que ela chama de biblioteca auxiliar, para orientar e suportar seus produtos de PLM na linha Tecnomatix. A biblioteca auxiliar está estruturada em blocos de assuntos conforme segue: *Tecnomatix Overview* (Visão Geral do Tecnomatix), *Third-Party Reports and Articles* (Relatórios e Artigos de Terceiros), *Assembly Planning and Validation* (Planejamento e Validação de Montagem), *Robotics and Automation Planning* (Planejamento de Robótica e Automação), *Part Planning and Validation* (Planejamento e Validação de Peças), *Plant Design and Optimization* (Projeto e Otimização de Plantas), Gerenciamento de Qualidade, *Manufacturing Process Management* (Gerenciamento de Processos de Manufatura), e *Electronics* - que apresenta soluções de manufatura digital e MES focados na indústria eletrônica. Entre eles destaca-se o artigo “CXOs: Meet your new core competency - digital manufacturing” que 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. Destaca, a partir de pesquisas realizadas com executivos de empresas renomadas de manufatura, três questões importantes: (1) Como as empresas podem aumentar

o valor de suas ações? (2) As empresas estão investindo de forma correta? (3) As empresas estão aproveitando as vantagens das tendências de negócios?

A Siemens PLM Software ressalta que, para atender essas questões, as empresas devem incorporar o reuso do conhecimento em suas linhas de negócios, assim como integrar de uma forma rápida tudo o que é oferecido como resistência de conhecimento e adotar soluções “*best-in-class*” - soluções que proporcionam liderança em seu segmento - para problemas críticos e específicos de negócios. A Siemens PLM Software concilia este apelo com os investimentos em tecnologia da informação e a implementação de ferramentas de tomadas de decisão, de tal forma a ajustar o legado, proporcionar um melhor retorno de investimento (ROI - *Return On Investment*), um rápido “*time-to-value*” (tempo de entrega do valor investido), e um baixo custo total de propriedade TCO (*Total Cost of Ownership*). De tudo, a proposição da Siemens PLM Software leva em conta a maximização do valor dos investimentos e a redução dos riscos, principalmente por oferecer ferramentas digitais que atendem as necessidades de produtos exigidos pelos mercados de seus clientes. A “chave” está em entregar produtos no tempo certo, ou seja, atender um mercado que é dirigido pela demanda.

Ainda no artigo “CXOs: Meet your new core competency - digital manufacturing” a Siemens PLM Software destaca a importância da manufatura. Comenta que as operações de produção são responsáveis pela maior parte dos investimentos de recursos e tempo, e este pode ser o elo mais fraco entre o principal centro de custo de uma empresa de manufatura, que inclui as operações de produção e o cliente. Então, “como fazer da manufatura a maior força de uma empresa?”, indaga a Siemens.

Para resolver os principais problemas relacionados com os processos de manufatura e ter resultados satisfatórios e melhores do que os das empresas concorrentes, a Siemens PLM Software recomenda o empenho de conseguir mais valor de negócios a partir da priorização de investimentos no projeto do produto, no gerenciamento da cadeia de fornecedores e no relacionamento com os clientes. Dessa forma, segundo a Siemens PLM Software, o esforço de toda a empresa, empenhada com objetivos comuns, se torna maior do que a soma das partes - a consequência é a maximização de cada área. O ambiente de manufatura deve estar apto a suportar alternativas de estratégias de negócios, com a capacidade de definir objetivos de desempenho como qualidade do produto, variedade, disponibilidade ou custo - ou qualquer combinação entre esses objetivos.

O artigo ainda destaca que, para iniciar com esta abordagem, basta olhar para um passado recente. Há dez anos atrás as empresas estavam direcionadas a investir bilhões de dólares na automação de negócios de sistemas de manufatura empurrados, que incluíam sistemas distintos para projeto de produto e automação de chão-de-fábrica. Esses sistemas eram maduros e sofisticados, porém padronizados. Agora, dez anos mais tarde, as empresas de manufatura estão investindo em sistemas que ajudam a reduzir o “*time-to-market*”, aumentar a qualidade dos produtos e minimizar os custos de produção. As tarefas de planejamento de processos, que na maioria das empresas de manufatura eram fragmentadas, sub empregadas e sub apreciadas, têm dado lugar a investimentos que relevam a informação dos processos de produção no caminho de sobrepor a excelência operacional. O reconhecimento da importância da engenharia de processos, para o sucesso das operações de produção e da corporação como um todo, tem proporcionado uma abrangente classe de soluções de negócios, todas focadas no que é chamado de “sistema de registro” (ou sistema de armazenamento do conhecimento), que tem como base a tecnologia da informação. Esse modelo permite que a produção se transforme no principal “*core*” (centro de competência) das organizações.

Outro destaque do artigo é que quanto mais as empresas de manufatura migram para países onde os custos de mão de obra são menores, essa vantagem competitiva desaparece. Entretanto as empresas devem olhar além de “onde” os produtos estão sendo manufaturados e focar no “como” seus processos de manufatura estão sendo realizados, desta forma criando um novo conceito de vantagem competitiva. No artigo, a Siemens PLM Software afirma que as necessidades de melhorar os projetos e a execução dos processos de manufatura estão se tornando mais críticas à medida que os ciclos de vida dos produtos se tornem mais curtos, assim como os modelos e as múltiplas variantes do produto, o desgaste dos preços dos produtos e a terceirização aumentem. Melhores processos de manufatura foram tradicionalmente negligenciados para a adoção de melhores e mais caros projetos de produtos ou melhor gerenciamento de distribuição - esse é o cenário relatado pela Siemens PLM Software. Partindo da perspectiva de negócios, 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 cadeia de fornecimento. Nesse sentido, a manufatura digital - também denominada pela Siemens PLM Software de MPM - *Manufacturing Process Management* - é uma iniciativa de negócios 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.

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 - ainda dentro da visão da Siemens PLM Software - 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 uma forma clara, maior flexibilidade nos negócios e maior controle de custos, principalmente em um mercado globalizado. 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.

A Siemens PLM Software consagra três definições para a manufatura digital:

- A manufatura digital é uma combinação de software e métodos de manufatura que transforma processos de produção e iniciativas de negócios relacionados à manufatura. A manufatura digital proporciona baixos custos, maiores receitas e lucros - consegue muito mais das operações de produção, inovação em produtos e melhores acordos 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 “*process-driven product design*” (projeto de produto dirigido a processos);
- A manufatura digital é o “sistema de registro” (*knowledge*) que proporciona excelência em operações de manufatura. Ela preenche a lacuna que existe (no PLM) 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.

Além do planejamento de processos, a Siemens PLM Software afirma que a manufatura digital também otimiza as operações de produção no sentido de comparar o realizado com o planejado; isso significa que as empresas podem 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 melhoria de produção. Para finalizar, 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 flexibilidade de produção de última geração. Apóia-se também na comunicação efetiva entre engenharia de produtos, engenharia de processos e chão-de-fábrica, tudo baseado no planejamento eletrônico de processos (Figura 3.10).

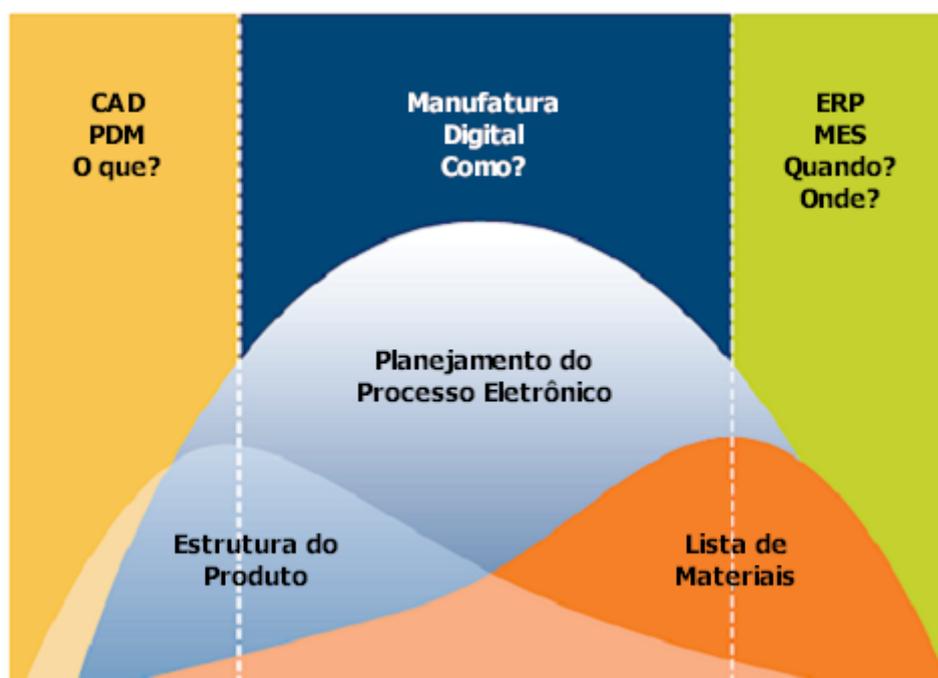


Figura 3.10 - Planejamento eletrônico de processos da Siemens PLM Software. Fonte: “CXOs: Meet your new core competency - digital manufacturing”.

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) 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 uma

forma mais bem sucedida ao mercado. A suíte de softwares Tecnomatix é a solução de manufatura digital da Siemens PLM Software.

3.2.2 Tecnomatix – Visão Geral e Características

A suíte de softwares Tecnomatix se apresenta no mercado como um conjunto abrangente de ferramentas de soluções de manufatura digital, com o propósito de auxiliar as empresas a identificar rapidamente as melhores estratégias de produção para apoiar suas decisões de aumento de produtividade, menores custos e metas de qualidade. O apelo da suíte Tecnomatix da Siemens PLM Software está ajustado ao cenário da atual economia, que releva constantes alterações de demanda e aumento de competitividade, destacando o cliente como fator decisivo. A tradição da suíte Tecnomatix está na utilização de tecnologias digitais para simular e otimizar as operações de produção, com base nos processos que envolvem a abordagem PLM do ciclo de vida de produtos. Tais tecnologias permitem melhor visibilidade de processos, melhor aproveitamento de ativos, flexibilidade de produção, otimização contínua de recursos e de investimentos, redução de custos e riscos e ajustes de conformidade.

O Tecnomatix permite vincular a engenharia de produtos a todas as disciplinas de produção que incluem layout de plantas, planejamento de processos, simulação e gerenciamento da produção. Faz parte de uma suíte de soluções digitais mais ampla que inclui o software Teamcenter e garante o uso da engenharia simultânea no conceito de empresa estendida (engloba a própria empresa, parceiros, clientes e fornecedores). Desta forma, a Siemens PLM Software valoriza o gerenciamento digital nos processos de manufatura.

Segundo a Siemens PLM Software, como já descrito, a manufatura digital - também conhecida como MPM - *Manufacturing Process Management* - é uma iniciativa de negócios capacitada com uma profunda experiência de processos de produção e combinada com tecnologias de primeira linha, para gerenciar informações que possam resolver problemas de manufatura e sobrepôr desafios antecipados. Coincide com os conceitos de Grieves (2006) em oferecer agilidade para conseguir - mais cedo - volume de produção e entrega de produtos variados, um dos principais fatores nos programas de maximização de resultados. Tem a capacidade de comparar o planejado com o realizado e, dentro de um ciclo

de melhoramento contínuo, reter as informações do que foi bem sucedido e do que não foi bem sucedido, permitindo criar uma base real de conhecimentos do chão-de-fábrica para reuso da informação. O Tecnomatix permite que projetistas de produtos se comuniquem efetivamente com os engenheiros de processos, e os engenheiros de processos se comuniquem efetivamente com os controladores de chão-de-fábrica e operadores de linha. Para tudo isso acontecer, a chave é o planejamento eletrônico de processos com base na colaboração da informação que, de uma maneira simultânea, armazena e reconcilia as necessidades do projeto de produtos com todas os recursos necessários e disponíveis para a manufatura do produto e as respectivas operações que devem ocorrer nos processos de produção.

A Siemens PLM Software afirma que esta é uma regra que as empresas estão adotando para o compartilhamento de informações entre as muitas disciplinas e empresas envolvidas, para que os produtos sejam oferecidos ao mercado com sucesso. Como componente essencial de uma estratégia robusta de PLM, a suíte de software Tecnomatix, conforme coloca a Siemens, preenche a lacuna entre o projeto do produto e sua entrega ao gerenciar tanto os processos de projeto quanto os de produção em um modelo de dados totalmente associativo.

A suíte de software Tecnomatix é composta de sete módulos a saber: (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. A Figura 3.11 traz um esquema que representa a hierarquia dos módulos da suíte de software Tecnomatix.



Figura 3.11 – Esquema da hierarquia dos módulos do software Tecnomatix.

Fonte: Siemens PLM Software.

Percebe-se pela ilustração que todos os módulos se apóiam no “gerenciamento do processo de manufatura”, que é representado pelo software Teamcenter. Este módulo, o Teamcenter, 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 sub-setor cPDm do PLM segmentado pela CIMdata, que é usado para gerenciar as definições de produtos. Com uma única fonte de dados, o Teamcenter permite relacionar, de uma forma associativa, informações de lista de matérias 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 permite que se integre soluções específicas de disciplinas como o layout de plantas, modelagem de dados e gestão de qualidade, e reúne recursos distribuídos para que se possa 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, cada qual com sua especialidade.

- **Módulo de planejamento e validação de peças** - A solução de planejamento e validação de peças do Tecnomatix atende as empresas que produzem peças. Com este módulo, as empresas podem definir (simular), de maneira precisa e eficiente, o plano de processo de produção e colaborar de forma efetiva com os sistemas de execução de manufatura. As equipes de planejamento de produção usam as BOPs (listas de processos) virtuais otimizadas mais recentes em processos reais, de tal forma a garantir etapas seqüenciadas do processo. O reuso de listas de processos comprovadas diminui o tempo de planejamento e garante o uso de métodos e recursos preferidos no chão-de-fábrica. A possibilidade de validar planos de processos de produção em ambientes virtuais de simulação faz com que erros e atrasos sejam reduzidos. A validação de planos de processos pode incluir programação NC (*Numerical Control*), seqüenciamento de processos, alocação de recursos e diversos relatórios. Os resultados podem alimentar e otimizar processos reais de chão-de-fábrica como sistemas DNC (*Distributed Numerical Control*) que transferem dados de planejamento para máquinas CNC (*Computer Numeric Control*). Este módulo - de planejamento e validação de peças - permite sincronizar as operações de planejamento e produção ao fornecer acesso a uma única fonte de dados e recursos de usinagem, ao mesmo tempo em que simulações mecânicas garantem dados de ajuste da linha de produção e a otimização de ferramentas das máquinas.
- **Módulo de planejamento e validação de montagem** - O módulo de planejamento e validação de montagem do Tecnomatix, através de cenários, sincroniza os requisitos de produto e produção, com o propósito de garantir o processo de montagem. Facilita o desenvolvimento do processo, o gerenciamento da lista de materiais, o ajuste da linha de produção, a criação de processos automáticos de montagem e desmontagem, a análise do layout da fábrica, a análise da ergonomia em

3D, entre muitas outras características. Por meio do reuso de soluções comprovadas e práticas recomendadas, com o uso da simulação as tarefas de planejamento de montagem diminuem em muito. Além disso, essa abordagem – de validação e planejamento da montagem – permite investigar e otimizar novos processos e novas tecnologias em um ambiente virtual sem impactar na capacidade atual de produção.

- **Módulo de robótica e planejamento de automação** - A simulação e utilização virtual de sistemas de manufatura dedicados a robótica e não robótica se dá com a solução de “robótica e planejamento de automação” do software Tecnomatix. O módulo combina, em um ambiente colaborativo 3D, desde cenários exclusivos de simulação com um único modelo de robô até instalações de produção com diversos modelos e diversas combinações variantes, gerenciados de forma dinâmica. Essa solução permite que engenheiros possam tomar decisões antes de adquirir, modificar ou implementar novas tecnologias de automação, sem afetar a produção real.
- **Módulo de projeto e otimização de fábricas** - As simulações desse módulo otimizam os parâmetros que definem as capacidades do sistema de produção, onde - com base em diversos cenários - pode-se eliminar gargalos, melhorar a eficiência da planta e aumentar a produtividade. O módulo de projeto e otimização de plantas do Tecnomatix usa as mesmas características de fluxograma se comparado a softwares de simulação de eventos discretos como o Arena, Simul8 e ProModel, para representar os modelos de simulação de processos de manufatura de chão-de-fábrica. Porém, uma vez o modelo executado, o mesmo pode ser representado por um ambiente 3D real. A representação do projeto e a visualização 3D da planta de manufatura são possíveis porque o Tecnomatix usa “objetos inteligentes” (biblioteca) para representar os recursos, a exemplo de transportadores, estruturas de mezanino, guindastes, contêineres, AGVs e muitos dispositivos de operação. Ao combinar técnicas de layout 3D e objetos inteligentes, é possível criar *layouts* de fábrica num tempo muito menor do que em 2D. Ainda, com esse módulo, é possível simular,

analisar e otimizar ambientes logísticos, com base em distâncias, na frequência de chegada e saída de peças, e no custo do fluxo de materiais.

- **Módulo de gerenciamento de qualidade** - Outro módulo do Tecnomatix, não menos importante, é a solução de gerenciamento de qualidade. A proposta é facilitar a entrega de produtos com qualidade, uma vez que as empresas vinculem disciplinas de qualidade a todos os domínios de manufatura e engenharia. Os aplicativos de qualidade do Tecnomatix fornecem um ambiente integrado aos sistemas CAD (*Computer Aided Design*) com o propósito de criar programas de inspeção e analisar tolerâncias de montagem. A vantagem está na leitura direta das informações do modelo CAD, diminuindo dessa forma, o trabalho de planejamento e a programação da rotina de inspeção. O módulo de gerenciamento de qualidade do Tecnomatix possui recursos de análise de variação VSA (*Variation Analysis*), que simula os efeitos do aumento de tolerância de peças nos processos de montagem e categoriza os fatores que contribuem com essa variação. Isso garante qualidade final de montagem e alinhamento com o planejamento do projeto.
- **Módulo gerenciamento de produção** - Por fim, o último módulo a comentar dentro do esquema apresentado é a solução de “gerenciamento de produção” do Tecnomatix. Este módulo tem como proposta alinhar os procedimentos de toda a empresa e possibilitar, dentro de uma visão completa do ciclo de produção, o acesso - em tempo real - aos dados de chão-de-fábrica. A proposta de coletar os dados operacionais em tempo real tem como finalidade avaliar o desempenho do chão-de-fábrica em relação às iniciativas de planejamento. As informações de chão-de-fábrica são vitais para validar estimativas de custos em projetos de desenvolvimentos de novos produtos, validar configurações de desenvolvimento de projetos atuais, de planejamento, de manutenção e também para reduzir os riscos associados a produtos que não apresentam conformidade. Esta solução estende as funcionalidades do PLM no chão-de-fábrica, proporcionando maior eficiência operacional. Esta abordagem de estender o PLM até o nível de chão-de-fábrica é recente e inclui novos

personagens como os sistemas MES, as interfaces HMI (*Human Machine Interface*) e os dispositivos de controle de supervisão e aquisição de dados SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

As soluções MES são baseadas em modelos e gerenciam o trabalho em andamento, controlam as operações de produção, mão de obra, gerencia a qualidade e fornece informações de produção para os sistemas de gestão ERP e para os repositórios de dados do PLM, no caso da Siemens PLM Software, no Teamcenter. Os dispositivos SCADA coletam as informações de chão-de-fábrica e dos equipamentos em tempo real e carregam essas informações em sistema de nível superior, que inclui o MES. Em linhas gerais essas soluções integradas atendem a três requisitos fundamentais nas empresas de manufatura: a produção, o desenvolvimento e a inteligência da produção. A Siemens, através de sua divisão “Automation and Drives”, oferece em sua linha de produtos soluções MES, HMI e SCADA.

CAPÍTULO 4

MES E PLM NO CHÃO-DE-FÁBRICA - CENÁRIOS

Aqui a proposta da pesquisa é dar uma visão de mercado sobre diversas aplicações de MES e, de uma forma exploratória, qualificar os cenários e tipos de solução MES nas mais diversas condições para o efetivo planejamento e gerenciamento da produção. Como visto no Capítulo 2, dentro de uma visão mais tradicional e de acordo com a hierarquia adota pela MESA, os sistemas MES usualmente colaboram com os sistemas ERP, responsáveis pelas transações físicas e pelo planejamento dos recursos de longo, médio e curto prazo das empresas. O item 2.1.2 comenta sobre a estrutura e a constante evolução dos sistemas MES, os quais podem ser encontrados com outras denominações como MOS - *Manufacturing Operation System* e MOM - *Manufacturing Operations Management*, onde se nota claramente a evolução de conceitos e aplicações dos sistemas MES. Dentro dessa evolução de mercado nota-se os passos do PLM no chão-de-fábrica com a integração de sistemas MES e a manufatura digital do PLM para a melhoria de desempenho do planejamento dos processos de manufatura.

Nesse sentido a pesquisa qualifica dois cenários que, segundo o impacto e repercussão de mercado, merecem atenção: O primeiro é o panorama Siemens e UGS - atual Siemens PLM Software, onde se procura identificar o verdadeiro estágio de amadurecimento da integração das soluções MES Simatic IT da Siemens com as soluções de manufatura

digital Tecnomatix da Siemens PLM Software (antiga UGS). Neste caso a UGS (Siemens PLM Software) herdou, ao adquirir a empresa israelense Tecnomatix, uma solução de MES integrada com ERP e PLM e focada no mercado de componentes eletrônicos e placas de circuito impresso PCB (*Printed Circuit Board*). Hoje esta solução é denominada Tecnomatix MES, com o apelo comercial “*Manufacturing execution for the electronic industry*” (Execução da manufatura para a indústria eletrônica). Fica claro, no caso da Siemens e da Siemens PLM Software, que a corporação mantém duas vertentes de sistemas MES. A enorme suíte Simatic IT MES, comercializada pela divisão “Automation and Drives” da Siemens AG e dentro de um conceito mais tradicional, com o apelo de colaboração mais com o ERP, embora a pesquisa tenha constado que a integração com outros sistemas do tipo PLM, SCM etc. seja possível; e o MES Tecnomatix comercializado pela Siemens PLM Software, com o apelo de integração ERP/MRP, PDM e PLM; O segundo cenário fica por conta do estudo da solução MES da Intercim - com a denominação de “Suite Pertinence powered by Velocity”, uma proposta apoiada no conceito MOM, que a Dassault Systèmes identificou como sendo uma aliada para sua suíte de manufatura digital DELMIA. A pesquisa ainda elege e detalha a solução “Suite Pertinence powered by Velocity” da Intercim por entender ser uma das soluções mais completas e atuais de MES e que, principalmente, se integra de uma forma colaborativa com a manufatura digital do PLM.

4.1 MES - SIMATIC IT DA SIEMENS AG

O Simatic IT é um sofisticado sistema de execução de manufatura MES que contempla vários tipos de indústrias - “discreta”, “processos” e “*life sciences*” (ciências biomédicas). Totalmente escalável e baseado nos padrões ISA S95, a suíte MES Simatic IT da Siemens AG atende a estrutura bidirecional de dados em tempo real e tem o apelo comercial de oferecer ferramentas de gerenciamento de produção para que as empresas consigam sustentabilidade competitiva, métricas e soluções que respondam a um rápido ajuste de mudanças de demanda de mercado para uma correta adaptação dos processos de produção. A Figura 4.1 dá uma visão da amplitude da suíte MES Simatic IT da Siemens AG que está dividida nos seguintes grupos de aplicação: (1) MES Suites; (2) MES Components; (3) MES Libraries; e (4) Plant Intelligence. Cada grupo de aplicação apresenta diversos módulos. A

pesquisa constatou que o principal grupo de aplicação é o MES Suites que abrange os módulos SIMATIC IT Production Suite, SIMATIC IT R&D Suite e SIMATIC IT Intelligence Suite, detalhados a seguir.

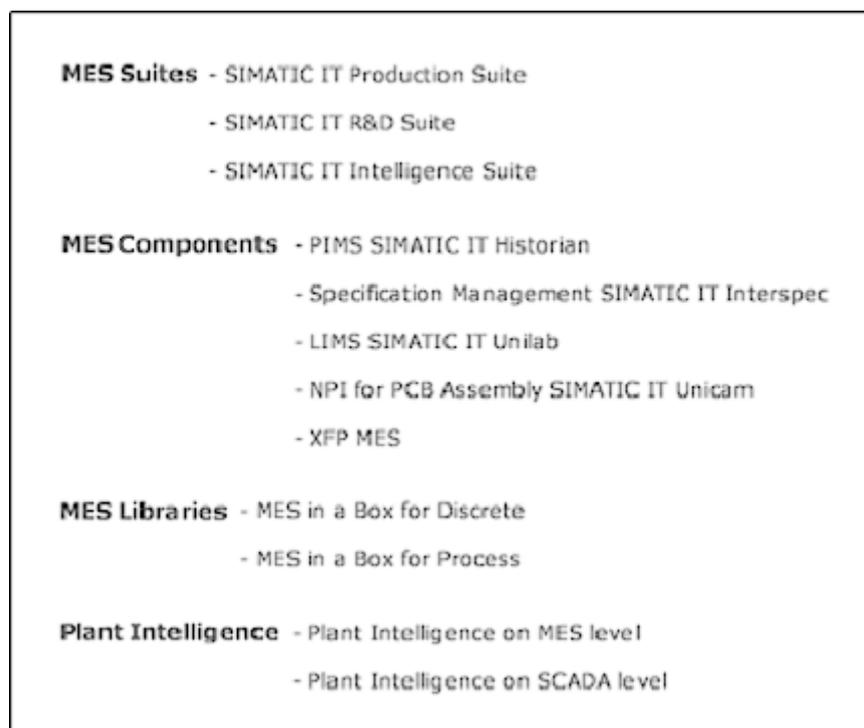


Figura 4.1 – Amplitude da suíte MES Simatic IT da Siemens AG. Fonte:

<http://www.automation.siemens.com/mcms/automation/en/manufacturing-execution-system-mes/Pages/Default.aspx>.

A proposta do módulo SIMATIC IT Production Suite é oferecer, de uma forma sincronizada, agilidade nas operações de produção, visibilidade da planta em tempo real e integração com a cadeia de fornecimento, uma vez que as decisões que mais afetam os lucros das empresas estão na área de manufatura. Com este módulo as empresas podem integrar métricas de produção a indicadores de desempenho para atender as exigências de mercado, através de uma infra-estrutura integrada de TI que controla todos os recursos de manufatura da empresa, tais como: materiais, equipamentos, mão-de-obra, especificações e procedimentos. A proposição do SIMATIC IT Production Suite, de acordo com a Figura 4.2 é combinar a modelagem de processos de negócios, oferecida pelo produto, com uma coleção

de componentes altamente integrados, desde o nível de automação e controle de chão-de-fábrica até os níveis de gestão (ERP), engenharia de produtos e processos (PLM) e cadeia de fornecimento (SCM).

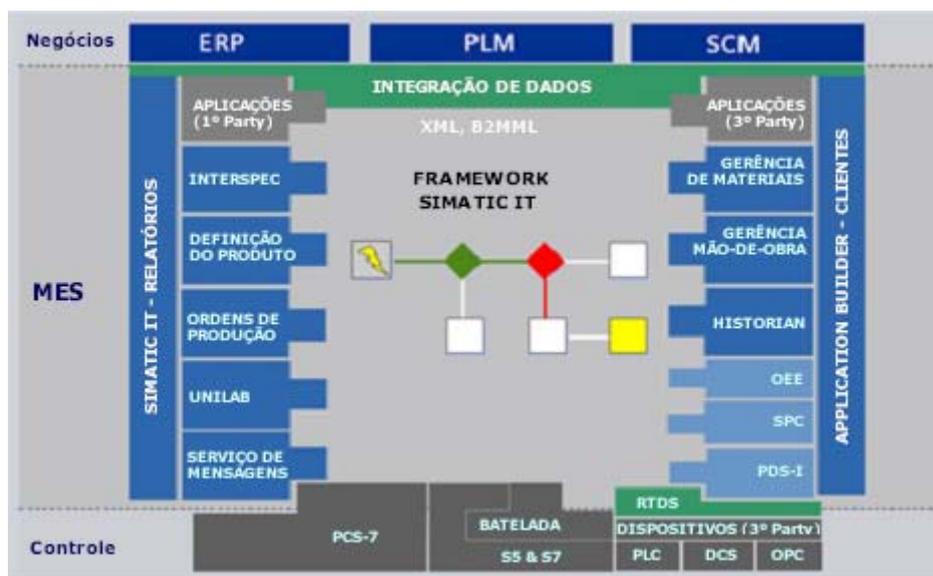


Figura 4.2 – Proposta do SIMATIC IT Production Suite - Combinar a modelagem de processos de negócios que inclui o nível de automação e controle com as soluções ERP, PLM e SCM. Fonte: http://www.automation.siemens.com/mcmsg/mes/en/mes_suites/production_suite/Pages/Default.aspx - (Adaptado).

Ainda, dentro de sua proposta de gerenciamento e execução da produção, o módulo SIMATIC IT Production tem a capacidade de coordenar os vários sistemas envolvidos com a planta, padronizar a produção e manter os processos de manufatura alinhados com as atividades dos fornecedores. O objetivo é fechar o “*gap*” - a lacuna - que existe entre os sistemas de gestão ERP e os sistemas de controle de chão-de-fábrica, e possibilitar o gerenciamento das definições de produtos, o gerenciamento das ordens de produção, o gerenciamento de materiais, as análises de desempenho das plantas, as análises de indicadores de desempenho KPI - *Key Performance Indicators*, análises OEE - *Overall Equipment Effectiveness*, análises de relatórios, programação (*scheduling*), LIMS - *Laboratory Information Management*, garantia de qualidade e gerenciamento das especificações de produtos. Ainda, dentro da abordagem de plataforma de modelagem, o apelo da Siemens AG se mantém na possibilidade das empresas de manufatura poderem

ajustar seus processos de negócios às solicitações de demanda de mercado e ajustar suas plantas para se tornarem mais responsivas. A solução também propicia a aplicação de “*roll-out*” (replicação) para outras plantas, da mesma forma que é vista como uma excelente oferta quando o assunto é uma completa genealogia e rastreabilidade de materiais para atender conformidades regulatórias.

O módulo SIMATIC IT R&D Suite é dirigido ao ambiente de pesquisa e desenvolvimento - P&D industrial - que, segundo a Siemens, é a chave para as empresas de sucesso que desejam otimizar seus processos de produção, nos aspectos de melhores produtos e menores custos de produção. Este módulo considera a análise colaborativa de várias disciplinas como gerenciamento de projetos, desenvolvimento de métodos (*fórmulas*) e embalagens, gerenciamento de experimentos e testes, projeto do processo de produção, anotações eletrônicas, controle de qualidade, gerenciamento de laboratórios, gerenciamento de especificações, gerenciamento de inventário e lotes (*batch*), e gerenciamento de plantas piloto. Conforme a Figura 4.3, o módulo SIMATIC IT R&D Suite está apoiado na mesma arquitetura de plataforma do módulo SIMATIC IT Production Suite, o que facilita a integração direta de dados e fluxos de trabalho (*workflows*) provenientes de pesquisa e desenvolvimento aos ambientes reais de manufatura.

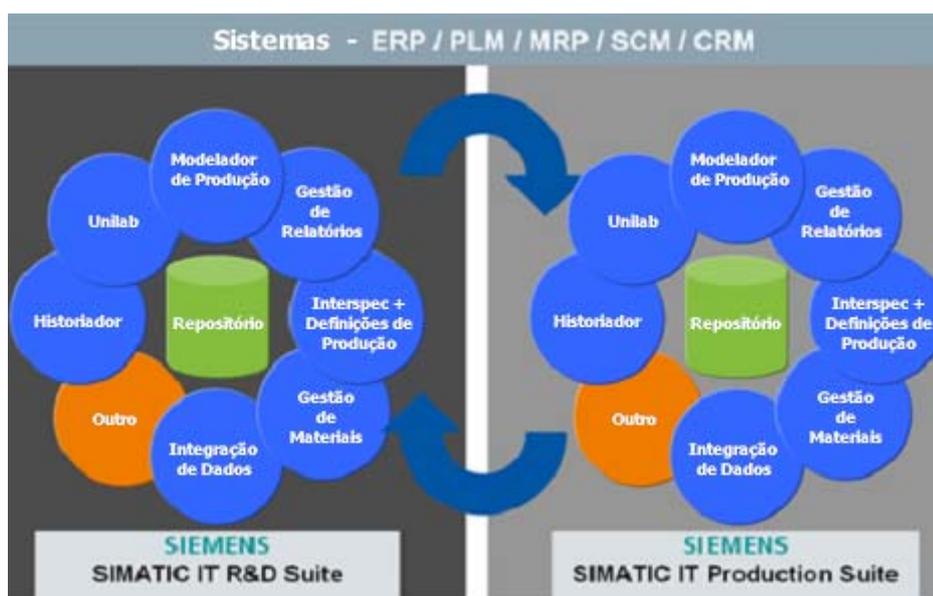


Figura 4.3 - Arquiteturas dos módulos SIMATIC IT R&D Suite e SIMATIC IT Production Suite.

Fonte: http://www.automation.siemens.com/mcms/mes/en/mes_suites/rdsuite/Pages/Default.aspx.

O SIMATIC IT Intelligence Suite é o módulo responsável pela inteligência do repositório de dados do MES Simatic IT. É um mecanismo de tratamento de dados que traduz os dados primários de chão-de-fábrica, coletados em tempo real, em indicadores de desempenho de negócios para tomadas de decisão. Esse módulo ainda permite que a vasta quantidade de dados provenientes de diferentes sistemas - baseados em “tags” (rótulos), base de dados relacionais e aplicativos - sejam coletados e compilados em um único banco de dados (*datawarehouse*) com uma estrutura de dados unificada. Isso permite que o SIMATIC IT sirva de plataforma de integração entre a manufatura e sistemas ERP, sistemas da cadeia de fornecimento e outros sistemas (a exemplo da manufatura digital do PLM), relevando assim todos os processos de negócios das empresas de manufatura. A partir do módulo SIMATIC IT Intelligence Suite os dados podem ser disponibilizados em tempo real ou através de “dashboards” (painéis) denominados “event-driven” (focado em atividades), com a acessibilidade, navegação, uso de filtros, cálculos, agrupamento e extração de dados, tudo baseado em regras.

Todos os outros módulos e componentes do Simatic IT, dentro dos grupos de aplicação, podem ser comercializados como parte do Simatic IT ou separadamente. Eles complementam e apóiam os três módulos principais descritos do grupo de aplicação MES Suites para um melhor desempenho e qualidade de produção.

O grupo de aplicação MES Components é composto pelos módulos:

(1) SIMATIC IT Historian, representado por um conjunto de funcionalidades de software para o gerenciamento de dados e análise de desempenho da planta PIM (*Plant Information Management*). Este módulo, que suporta o padrão de auditoria e assinatura eletrônica 21 CFR Part 11, coleta, armazena, agrupa, combina, valida, contextualiza e manipula dados a partir de uma variedade de fontes (*data sources*) em tempo real, tais como sistemas de automação, sistemas supervisórios SCADA, sistemas LIMS e sistemas relacionais de base de dados. Os dados são processados no modelo “back-end”, ou seja, as tarefas são secundárias e não controladas pelo usuário. Ainda o SIMATIC IT Historian se apresenta nas versões SIMATIC IT OEE/DTM para análise de eficiência de equipamentos, que inclui indicadores de desempenho KPIs e SIMATIC IT SPC para análise estatística de processos que, na forma de gráficos, interpreta o esperado com o realizado e provoca ações corretivas no caso de falhas;

(2) SIMATIC IT Interspec, é um módulo configurável que se aplica ao gerenciamento de especificações para a indústria de processos, a exemplo de especificações de matéria prima, materiais em processo e produtos acabados, materiais de embalagem etc., que são controladas em um repositório de dados único. Este módulo inclui funcionalidades para configurações de fluxo de trabalho, controle de ciclos de vida, controle de versões, a exemplo de características de produto, normas de qualidade, formulações, receitas, métodos de produção, rótulos de produtos etc. Os relatórios são disponíveis para web (*web-enabled*) e permitem extrair cálculos de desempenho, operações básicas de estatística, sugestões de melhoria e cálculos nutricionais. Ainda o SIMATIC IT Interspec tem integração com sistemas ERP, SCM, PLM, MES, e LIMS, tudo com o propósito de facilitar o desenvolvimento e lançamento de novos produtos, assim como assegurar o correto uso dos dados de produto em toda a empresa;

(3) SIMATIC IT Unilab, com uma arquitetura funcional modular, “*web-enabled*” e integrado com a maioria dos sistemas ERP, PLM e MES, este módulo atende as aplicações de LIMS - *Laboratory Information Management System*, controle de qualidade QC (*Quality Control*), serviços e de laboratórios de pesquisa e desenvolvimento. Os dados de qualidade são coletados e gerenciados em uma base de dados central e configuram-se em fluxos de trabalho de qualidade e análises em laboratórios e linhas de produção. O módulo ainda inclui validação automática e alarmes de gerenciamento para o que é chamado de “*for management by exception*” (gerenciamento por exceção ou gerenciamento do que está fora de regra), testes de estabilidade, conexão com instrumentos, gerenciamento de equipamentos, gerenciamento de qualificação de mão-de-obra, códigos de barras, gerenciamento de usuários, cálculo de custo e relatórios. Pode-se ainda compartilhar os dados de qualidade com laboratórios remotos, dispositivos móveis (*mobile*) e toda a cadeia de fornecimento. O SIMATIC IT Unilab tem conformidade com a maioria dos padrões de qualidade tais como GLP, GAMP, ISO 9001:2000, ISA 17025 e 21 CFR Part 11 e possibilita auditoria completa, assinatura eletrônica e controle de acessos;

(4) SIMATIC IT Unicam, é um módulo dedicado que oferece, de uma forma colaborativa, soluções para montagem e testes de placas de circuito impresso PCB - *Printed Circuit Board*. Esta solução possibilita, de uma forma concorrente, criar estratégias de produção, uma vez que os projetos de produtos e processos, o planejamento, as análises, otimização, e as operações de manufatura são compartilhados entre as equipes de trabalho e

fornecedores. Isso faz com que melhore o processo de tomada de decisão para saber onde, como e com quais recursos os produtos serão fabricados. Este módulo ainda inclui diferentes soluções: - SIMATIC IT Unicam FX for PCB Assembly para acelerar o tempo despendido entre projeto e produção, inclui ferramentas de planejamento de processos para montagens de placas de circuito impresso PCB, programação de máquinas, geração e gerenciamento de documentação de processos e instruções manuais; - SIMATIC IT Unicam Test Expert, este módulo possui ferramentas de testes de engenharia (*design for testability*) para acelerar testes e processos de inspeção em placas de circuito impresso PCB, assim com identificar erros (*debug*);

(5) XFP MES, em conformidade com a ISA 95 e integrada com sistemas ERP e PLM, é uma solução específica focada na indústria “*life sciences*” (ciências biomédicas) que inclui uma metodologia denominada “GAMP” (de cima para baixo) e proporciona visibilidade e eficiência em plantas farmacêuticas. Essa solução inclui os módulos: - XFP Weighing & Dispensing para pesagem e distribuição. A Siemens afirma que a pesagem é um fator crítico na indústria farmacêutica, se o peso estiver incorreto, todo o lote é perdido. Este módulo oferece precisão e pesagem consistente para todos os tipos de materiais e garante conformidade com o procedimento cGMP (*current Good Manufacturing Practice*), usado na indústria farmacêutica. Os resultados podem ser avaliados em telas e impressos com tecnologia de código de barras; - XFP MBR (*Master Batch Record*) é uma ferramenta avançada de fluxo de trabalho (*workflow*), em conformidade com a hierarquia de processos da ISA-88, que ajuda otimizar os processos entre múltiplas instalações. Esta ferramenta possibilita a modelagem por pontos e clique (*point & click modeling*), o reuso de objetos de processos e oferece padronização nas instruções de trabalho; - XFP Directed Manufacturing, este módulo está em conformidade com as regulamentações da FDA (Food and Drug Administration) e tem a característica de simplificar a coleta de dados, o controle automático de desempenho e minimizar erros. Os dados são armazenados em um repositório de dados central e disponibilizados para relatórios e análises. A proposta é ter uma ampla visibilidade da planta, assim como permitir um contínuo melhoramento dos processos; - XFP eBR, também em conformidade com as regulamentações FDA, este módulo está focado nas regulamentações de qualificação de mão-de-obra. Através de registros configuráveis de assinatura o módulo XFP eBR assegura e registra o comprometimento das pessoas e equipe na planta. Isso permite a validação de processos e a revisão, em tempo real, das tarefas em lotes (*batch*); - XFP Packaging, este módulo é compatível com as regulamentações FDA e

cGMP para ambientes de embalagens, com o propósito de apoiar as indústrias relacionadas com as ciências biomédicas “*life sciences*” no aspecto de garantir qualidade às indústrias farmacêuticas. Tem a propriedade de controlar, integrado a sistemas ERP, linhas de embalagens de operações primárias e secundárias.

O grupo de aplicações MES Libraries é composto por dois módulos: (1) MES in a box for Discrete para manufatura discreta; e (2) MES in a box for Process para a indústria de processos. Ambos os módulos são denominados “*out-of-the-box*” (pronto para uso) e oferecem bibliotecas - *MES Libraries* - de aplicações que, combinadas e aplicadas na forma de “*plugin play*” acrescentam recursos nas aplicações do Simatic IT.

O grupo de aplicações Plant Intelligence para o Simatic IT tem como proposta formar o “*link*” - a interface - entre os sistemas de supervisão de chão-de-fábrica SCADA e o MES e ainda permitir uma solução escalável e integrada desde máquinas até o nível ERP de gestão corporativa. Disponibiliza as informações da planta em tempo real e facilita os processos de tomadas de decisão, assim como evita desperdícios e paradas, melhora a utilização dos ativos e proporciona aumento de produtividade e eficiência nos negócios. O sistema também permite monitorar indicadores de desempenho para ações preventivas e corretivas. O Plant Intelligence é o sistema que faz o elo entre o sistema SIMATIC WinCC de visualização de processos “*entry-level*” (nível de entrada) dos dispositivos SCADA com o nível MES do SIMATIC IT, proporcionando transparência nos processos de produção através da coleta, armazenagem, agregação, das análises e distribuição de dados de produção, tudo de uma forma eficiente. Comercialmente o sistema é apresentado em dois módulos: Plant Intelligence on MES level e Plant Intelligence on SCADA level. A Figura 4.4 dá uma idéia da estrutura (*framework*) do Plant Intelligence que inclui a coleta e agregação de dados.



Figura 4.4 – Estrutura (*framework*) do Plant Intelligence.

Fonte: <http://www.automation.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/visualization-software/scada/simatic-wincc/wincc-plant-intelligence/Pages/Default.aspx>.

O Plant Intelligence apresenta as seguintes ferramentas de TI e integração de negócios como opções: - WinCC/DataMonitor, disponibiliza e avalia as condições de “status” (de estado) dos processos atuais e históricos de dados a partir de qualquer computador pessoal PC (*Personal Computer*) usando ferramentas de Internet; - WinCC/ConnectivityPack e WinCC/ConnectivityStatio, permite acessar dados históricos do sistema de arquivos WinCC via OPC HDA (*OLE for Process Control - Historical Data Access*) ou OLE-DB (uma API - *Application Programming Interface* - desenvolvida pela Microsoft), assim como transferir e reconhecer mensagens via OPC A&E (que trata de alarmes e eventos); - WinCC/IndustrialDataBridge, permite fazer o “link” com bases de dados externas, aplicações de escritório (*office applications*) e sistemas de TI via OLE-DB e OPC DA (para acesso a dados); - WinCC/DowntimeMonitor, esta aplicação está orientada a indicadores de desempenho KPI (*Key Performance Indicators*) de plantas que detectam e analisam as instalações de máquinas e linhas de produção.

4.2 MES - TECNOMATIX DA SIEMENS PLM SOFTWARE

Como exposto, uma outra vertente de MES oferecida pela Siemens é a suíte Tecnomatix MES, uma solução focada na manufatura de eletrônicos, que veio de herança quando a Siemens AG adquiriu a UGS e a transformou em Siemens PLM Software. Atualmente o produto Tecnomatix MES - “*Manufacturing execution for the electronics industry*” (Execução da manufatura para a indústria eletrônica) é comercializado pela Siemens PLM Software, enquanto que a ampla suíte Simatic IT é comercializada pela divisão “Automation and Drives” da Siemens AG. A proposta da Siemens PLM Software, com o Tecnomatix MES, é a de oferecer uma solução que englobe rastreabilidade, controle de produção e integração das informações em toda a empresa, de forma a garantir metas de custos e entrega como fatores consistentes.

Ainda dentro da proposta, essa solução MES cobre todas as necessidades para a fabricação de circuitos impressos PCB - *Printed Circuit Board* - e montagens de peças (*box assembly*). É uma solução considerada “*out-of-the-box*” (pronta para uso), “*web-based*” (baseada na web), escalável e, segundo o apelo da Siemens PLM Software, exige pouca configuração de hardware e pode ser implementada em um curto período de tempo. A solução de MES da Tecnomatix vai além do controle de qualidade, a Siemens PLM Software afirma que, em função do “*mix*” de produtos ter aumentado muito nos tempos atuais e necessitar de um gerenciamento em tempo real de vários produtos ao mesmo tempo, essa solução não somente atende os critérios de qualidade mas também todos os requisitos de gerenciamento de chão-de-fábrica para grandes “*mix*”. A Siemens PLM Software ainda afirma que, com ciclos de vida de produtos cada vez mais curtos, aumenta o número de produtos “vivos”, que são fabricados ao mesmo tempo no chão-de-fábrica, e como consequência os tradicionais sistemas de coleta de dados, controle e monitoramento de chão-de-fábrica não estão aptos a atender os atuais ambientes de produção. Um exemplo são as pressões exigidas pela legislação da Europe Unions’s RoHS (<http://www.rohs.eu/english/index.html>) - um órgão que regulamenta a produção de produtos eletrônicos.

Um dos pontos importantes do Tecnomatix MES é sua integração com os sistemas empresariais ERP/MRP e de engenharia PLM/PDM. Com o Tecnomatix MES a Siemens oferece uma estrutura que permite conectividade e interoperabilidade com toda a

empresa e a cadeia de fornecimento. O nível e o grau de conectividade das transações podem ser determinados como uma necessidade específica em um ambiente de sincronização de dados em tempo real ou na forma de transferências de dados programadas. A Figura 4.5 dá uma idéia dos pontos de integração da suíte de software MES Tecnomatix no conceito de empresa estendida, que inclui conectividade com as áreas de engenharia PLM/PDM, as áreas de gestão ERP/MRP, o chão-de-fábrica que inclui o gerenciamento de ordens e os sistemas APS - *Advanced Planning and Scheduling*, e a cadeia de fornecimento que inclui os sistemas SCM - *Supply Chain Management*. Neste caso, fica claro que o Tecnomatix MES for Eletronics pode atuar como “backbone” na colaboração das informações para o ambiente de TI.

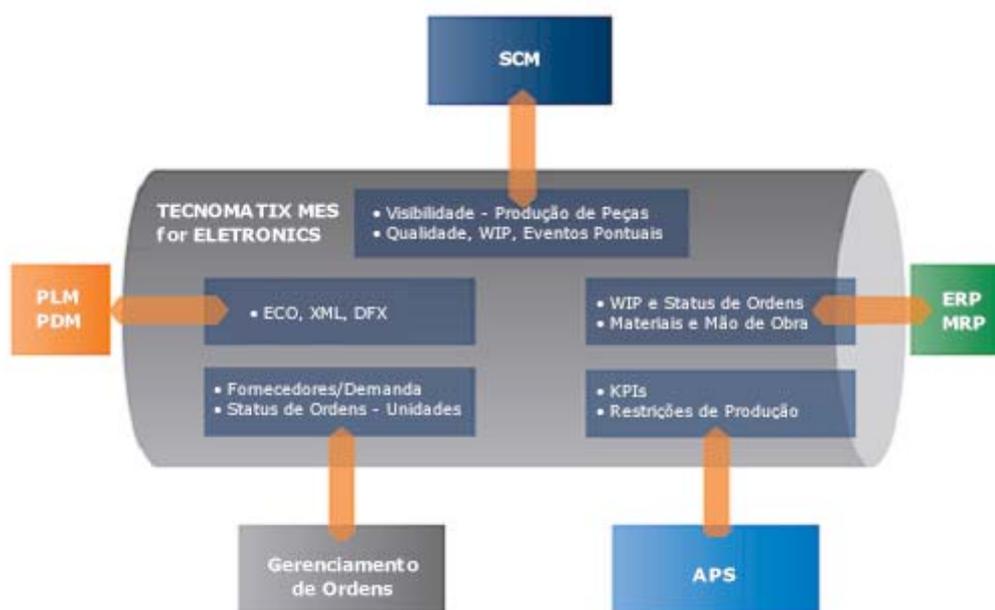


Figura 4.5 – Pontos de integração da suíte de software MES Tecnomatix no conceito de empresa estendida.

Fonte: http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/tecnomatix/library.shtml.

A Siemens PLM Software ainda declara que a integração das informações no conceito de empresa estendida é fundamental para alavancar o retorno dos investimentos ROI (*Return on Investment*) a partir das aplicações de negócios. Em outras palavras, o verdadeiro valor do MES é obtido quando elementos como controle da produção e rastreabilidade são adequadamente alcançados e o MES passa a alimentar a empresa, em tempo real, com dados de manufatura precisos e críticos, permitindo que a execução da produção saia como o

planejado. Uma outra conotação importante que a Siemens PLM Software faz é em relação a integração do MES Tecnomatix com os sistemas ERP/MRP - a Siemens PLM diz que sem o uso dos sistemas MES para complementar os sistemas ERP/MRP, melhorias como “*lean manufacturing*”, Seis Sigmas e programas de desenvolvimento de fornecedores ficam comprometidos. Ao alimentar os sistemas ERP/MRP a partir dos dados do MES, a situação atual de inventário, dados de estoque em processo *WIP (Work-in-Process)* e de produtos acabados podem, com confiança, ser usados para suporte a decisões.

Uma outra colocação feita pela Siemens PLM Software, com relação à empresa estendida, é que os negócios, de uma forma global, estão procurando por soluções integradas que possam suportar o projeto, o planejamento, a produção e os processos de apoio. Entretanto, o cenário atual está construído em cima de aplicações independentes e customizadas de uma forma não adequada. Ao contrário, o “Tecnomatix MES for electronics” foi concebido para o compartilhamento de dados de uma forma bi-direcional, de forma a evitar duplicações de dados e atualizações desnecessárias. Isso possibilita às empresas de manufatura planejar o crescimento de uma forma segura, e com dados em tempo real, considerando as operações de manufatura como um todo. A Siemens PLM Software ainda destaca que, nesse sentido, as soluções da suíte Tecnomatix MES - para o mercado de eletrônicos - conduz a soluções que integram sistemas de manufatura digital e incluem o projeto, o gerenciamento e a integração de processos de introdução de novos produtos *NPI - New Product Introduction*, a execução da produção e processos de negócios que abrangem desde plantas únicas até a corporação como um todo, ou níveis da empresa estendida. A solução “Tecnomatix MES for electronics” da Siemens PLM software é considerada como uma das poucas soluções de mercado preparada para a integração de dados de chão-de-fábrica, através de suas funcionalidades, soluções de manufatura digital para planejamento de processos de produção, sistemas de gestão ERP/MRP e colaboração com sistemas SCM para o gerenciamento da cadeia de fornecimento.

Como principais benefícios da solução “Tecnomatix MES for electronics” a Siemens PLM Software sumariza da seguinte forma: (1) ganho de vantagem competitiva por estar em conformidade com as exigências regulatórias e exigências de rastreabilidade, tal como a legislação RoHS empregada na União Européia, que considera componentes “*lead-free*” - livre de substâncias perigosas; (2) minimiza a chance de “*recalls*” de produtos e também o retrabalho interno; (3) analisa as informações de produção - em tempo real - para

melhores tomadas de decisão; (4) elimina a utilização de peças erradas e erros nos processos de produção; (5) possibilita ganhos instantâneos na visibilidade dos níveis de estoque; proporcionando a redução de esforços. Ainda destaca a rastreabilidade de materiais, nos históricos de WIP, no desempenho de máquinas, em peças com defeito e peças de reposição, na montagem de produtos finais, assim como no controle de produção que envolve as atividades de gerenciamento de qualidade, aplicação de roteiros, desempenho de equipamentos, sistema de verificação de peças, processos de alarmes e também oferece um painel “*dashboard*”, baseado na web, para exibição de relatórios. Do ponto de vista integração a Siemens PLM Software inclui outros benefícios imediatos que o “Tecnomatix MES for electronics” oferece: (1) elimina o sincronismo manual de dados para conciliar “status” de ordens e refugos; (2) reduz em muito a frequência de inventários e contagens manuais associados a paradas; (3) substitui - no chão-de-fábrica - os esforços de apontamentos manuais de mão-de-obra por simples transações; (4) faz a reconciliação do estoque em processo WIP e do estoque de produtos acabados em função da demanda de forma a atender o planejamento de produção. Ainda a Siemens PLM Software conta com uma equipe de suporte para customizar as aplicações do “Tecnomatix MES for electronics”.

4.3 MES “PERTINENCE SUITE POWERED BY VELOCITY” DA INTERCIM

Dando continuidade ao cenário Dassault Systèmes e Intercim, a primeira coisa é entender como a Intercim pensa sobre estender o PLM para o chão-de-fábrica. A pesquisa entende que a Intercim possui uma das soluções mais completas do cenário atual, quando o assunto é integrar dados de chão-de-fábrica a ambientes digitais de desenvolvimento de produtos e planejamento de processos PLM. A Intercim - com uma definição mais abrangente de PLM - acredita que as informações, até então concentradas na engenharia de projetos, devem ser estendidas ao ambiente de produção. Essas informações, tradicionalmente mantidas entre quatro paredes, muito ao contrário do conceito de colaboração, devem ser compartilhadas para que os resultados “*as-designed*” e “*as-planned*”, ou seja, “como-projetado” e “como-planejado” possam gerar valor. Dessa forma, a Intercim ressalta que a propriedade intelectual IP (*Intellectual Property*) deve ser repassada da engenharia para o

ambiente de chão-de-fábrica e vice-versa, e também para outros ambientes da empresa de manufatura. A Intercim acredita que estender os dados do PLM até a produção somente é possível se incorporados a um software de execução de manufatura como os sistemas MES e MOM. Nesse sentido a pesquisa, além de entender como a Intercim pensa sobre estender o PLM para o chão-de-fábrica, traz um estudo das características e capacidades da solução MES “Pertinence Suite Powered by Velocity” da Intercim, seu posicionamento de mercado e tecnologia empregada.

4.3.1 Entendendo como a Intercim pensa a Manufatura Digital do PLM no Chão-de-Fábrica

Em fevereiro de 2008, Paul Mayer, na época vice-presidente da Intercim, com mais de vinte anos de experiência em processos e gerenciamento de execução de produção, e Judson Plapp, profissional também com mais de quinze anos de experiência em TI e gerenciamento de execução, atualmente vice-presidente de marketing e estratégias corporativas da Intercim, com MSc. (*Master of Science*) em Gerenciamento de Tecnologia pela Universidade de Minnesota, ambos da área de manufatura, lançaram um *white paper* denominado “Extending PLM to the Shop Floor”. No artigo, 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 governamentais. 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 freqüentemente 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.

O artigo de Mayer e Plapp (2008) menciona que, apesar de existirem inúmeras definições para o gerenciamento do ciclo de vida do produto PLM, uma definição abrangente é aquela que considera todos os dados relevantes, que fazem parte da movimentação do

produto em seu ciclo de vida, desde o conceito até sua retirada, e gerenciam a comunicação das informações para facilitar melhorias no próprio produto, futuros projetos e processos. O problema, ainda segundo os autores, é que os dados contidos nas aplicações PLM freqüentemente não abrangem todo o ciclo de vida do produto, estão concentrados na engenharia de projetos. Aplicações de projeto auxiliado por computador, modelagem 3D e simulações, listas de materiais e programas de especificações de processos são componentes típicos usados na criação ou melhoria de produtos e processos. Dados de especificações referenciam partes de componentes, materiais, ferramentas e outros atributos, assim como, fluxos de processo, instruções de trabalho e critérios de inspeção. O resultado de tudo isso é uma documentação com todos os detalhes do produto e definições de processo.

Os autores ainda denominam esses resultados como “*as-designed*” e “*as-planned*”, ou seja, “como-projetado” e “como-planejado” e contam que há muito tempo essas informações eram mantidas em quatro paredes, muito ao contrário do conceito de colaboração. Isso cria um “*gap*” (uma lacuna, um intervalo) entre a engenharia de produto e a manufatura. O que é denominado de IP (*Intellectual Property*) - propriedade intelectual - não era repassado da engenharia para o chão-de-fábrica e vice-versa, e também para nenhum outro departamento. Ainda, como consequência, as informações “*as-designed*” e “*as-planned*” eram desconectadas das informações “*as built*” (como-construído). Uma vez que o objetivo é uma produção com mais eficiência, o compartilhamento dessas informações se faz importante; sistemas que não colaboram dados entre engenharia, produção, qualidade e a rede de fornecedores impedem os esforços de um melhoramento contínuo. Para as empresas de manufatura que, principalmente, fabricam produtos com alta complexidade e necessitam de qualidade infalível, como no caso da fabricação de aeronaves e da indústria farmacêutica, estender as funcionalidades do PLM além da área de projetos e engenharia até o chão-de-fábrica, faz com que informações importantes sejam colaboradas e os “*gaps*” (falhas) de processos sejam superados. Esta é a proposta da Intercim.

Mayer e Plapp (2008), ainda no artigo, caracterizam que uma verdadeira abordagem PLM, que estende os dados do PLM até a produção, deve incorporar um software de execução de manufatura - como os sistemas MES e MOM. Reforçam que, a capacidade de coleta de dados, aplicação de procedimentos, gerenciamento de qualidade, inteligência da manufatura e visibilidade em tempo-real para todas as atividades da produção, beneficiam de uma forma renovada os dados de projeto de produtos e processos e traz inovação. Mayer e

Plapp (2008) também citam alguns benefícios que a abordagem PLM traz, onde classificam de “*closed-loop*” (ciclo fechado), quando ampliada para o chão-de-fábrica:

- A habilidade de minimizar os erros de produção em relação ao que foi planejado “*as-planned*”;
- A facilidade de rápidas tomadas de decisão em função de integrar os dados “*as-built*” de produção na engenharia;
- A redução do volume de entrada de dados e soluções precipitadas de problemas, uma vez que os dados de manufatura, engenharia e outros sistemas - incluindo ERP - são colaborados.

Os autores ainda mencionam algumas perguntas difíceis de responder e também mencionam sobre o desperdício de aprendizado, se essas “muralhas” que separam a engenharia da produção não forem quebradas:

- O produto está igual ao projeto?
- Qual o tempo gasto na comunicação e implementação da modificação de uma ordem - (*change-order*)?
- O que se pode aprender com os fatos - com o dia-a-dia?
- Como é capturado o “*knowledge*” (conhecimento) do chão-de-fábrica?

Outro destaque importante que Mayer e Plapp (2008) evidenciam no artigo é a “modelagem 3D”. Modelos 3D e simulações têm sido usados por muitos anos no planejamento e projeto de produtos complexos. Atualmente, o potencial da simulação 3D está sendo empregado no chão-de-fábrica; isso tem acontecido, inclusive, porque o tamanho dos arquivos de dados de modelos 3D diminuiu bastante, além de facilitar em muito o trabalho dos operadores de produção. Os benefícios de estender a informação 3D até o nível de produção envolvem economia de tempo e custo. Os autores citam o exemplo do impacto de desempenho, quando um operário de produção estuda um desenho 2D com três páginas de texto, contra um modelo 3D com a capacidade de interação. No modelo 3D, a taxa de assimilação é muito maior, isso conduz a um melhor e mais rápido entendimento das tarefas, refletindo diretamente na curva de aprendizado. Ainda, complementam que o “*link*” (conexão)

de dados 3D com os dados de históricos de produção produz recursos práticos e interativos para tomadas de decisão mais rápidas e mais precisas nos processos de produção e no processo de manutenção, em todo o ciclo de vida do produto. Declaram que isso é um composto de dados que reside nos sistemas de execução de manufatura (MES/MOM) com dados que residem nos sistemas de gerenciamento de dados do produto (PDM/cPDM). Na prática, é a via de comunicação entre MES e PLM. Os autores ainda exemplificam que, estendendo o PLM até a produção, pode-se garantir medidas e validações como, por exemplo, tamanho de furos, torque e esforços; ferramentas adicionais são usadas para reforçar o controle de procedimentos de peças em série no chão-de-fábrica, assim como propiciar rastreabilidade da produção, identificando irregularidades em peças e processos.

Também é comentada a habilidade de rastrear materiais no chão-de-fábrica; por exemplo, se for descoberto defeito em um componente, a garantia de encontrar o produto ou lote de produtos que usou esse componente fica consumada. São citadas também vantagens em processos de auditoria, conformidade, melhoramento contínuo, “*recall*” (retorno de produto já vendido) e outras pesquisas e investigações. Além de tudo, o artigo de Mayer e Plapp (2008) também fala que a consistência do fluxo de trabalho está na confiança e repetibilidade do processo. O PLM no chão-de-fábrica, em conformidade com um sistema MES, evita atalhos, mudanças não autorizadas, ou desempenho de tarefas fora da programação; procedimentos que não agregam nenhum valor são contrários aos princípios *Lean* e Seis Sigma. Quase sempre, a falta de controle causa um grande número de problemas que incluem a não conformidade, retrabalho e refugo. A coleta de dados com base no “*as-built*”, durante a produção, assegura que o produto final obedeça a documentação de projeto “*as-designed*” e a documentação de planejamento “*as-planned*”.

Visibilidade, qualidade e rede de fornecedores também são itens de destaque no artigo. A qualidade pode ser assegurada pré-validando tarefas em ambientes de simulação 3D, evitando problemas antes da produção real. Os autores declaram que a chave do sucesso é a visibilidade. Um sistema PLM-MES integrado permite que a manufatura e a engenharia visualizem, em tempo-real, informações de produtos e processos. Ainda, Mayer e Plapp (2008) apontam - para a área de qualidade - mais uma eficiência com essa integração; relatam que a habilidade de destacar uma peça específica e realçar o ponto de não conformidade em um ambiente 3D reduz o tempo necessário para identificar o item e recomendar ações corretivas.

A visibilidade além do produto, ou partes do produto, é outro benefício que o PLM oferece no chão-de-fábrica. Os autores comentam sobre um “*dashboard*” (painel de controle) em 3D que representa o chão-de-fábrica em tempo real, com localizações, status de não conformidade, tempo de execução, fidelidade da programação, e informações sobre ordens de mudanças, que podem ser visualizados e compreendidos facilmente. Comentam também na colaboração com os fornecedores, no sentido de que, ao incorporar os dados de engenharia e manufatura na rede de fornecedores, pode-se também melhorar a qualidade e adicionar dados vitais no registro “*as-built*”. Ainda, com o uso das capacidades de execução de produção baseadas na Web, dados de qualidade podem ser compartilhados dentro de uma simples planta, múltiplas instalações e, inclusive, na rede de fornecedores e parceiros OEM (*Original Equipment Manufacturer*).

Mayer e Plapp (2008) finalizam o artigo ao dizer que existem inúmeras desvantagens ao limitar o PLM apenas para as funções de engenharia, principalmente para produtos complexos e indústrias regulamentadas. Os dados do PLM que se perdem na “lacuna” entre engenharia e produção podem ser usados efetivamente para melhorar o produto e eficiência dos processos e, de forma integrada, colaborar com os dados “*as-built*”. Os autores concluem o assunto da seguinte forma: “As soluções Intercim podem estender o PLM até a produção”. O produto oferecido pela Intercim para esta aplicação é a suíte de software denominada “Pertinence Suite Powered by Velocity”.

4.3.2 Estudo das Características e Capacidades da Solução MES “Pertinence Suite Powered by Velocity” da Intercim e Posicionamento de Mercado

Em junho de 2008, Judson Plapp lançou um outro “*white paper*” denominado “Pertinence Suite Powered by Velocity: Intercim’s MES Solution”, com o apelo de proporcionar menores custos, melhor visibilidade no chão-de-fábrica, e redução do tempo de ciclo de manufatura. A proposta é mostrar que as tradicionais barreiras entre PLM, ERP e MES têm diminuído nos últimos anos e novas tendências estão emergindo. No sumário deste artigo Plapp (2008) afirma que fornecedores de soluções PLM e ERP estão associando

soluções MES como funcionalidade, enquanto que fornecedores de soluções MES estão começando a oferecer soluções PLM e ERP como vantagem competitiva. O artigo descreve como a solução MES da Intercim - denominada “Pertinence Suite powered by Velocity”- capacita a indústria de manufatura a implementar a solução Intercim no chão-de-fábrica. A promessa é diminuir custos e oferecer visibilidade do chão-de-fábrica em tempo real. O artigo também destaca como a solução MES da Intercim mapeia as onze funções principais da MESA e as vantagens oferecidas pela solução Intercim. Conforme a Figura 4.6, no artigo, Plapp (2008) classifica a manufatura como sendo a intersecção entre o fluxo do PLM e a cadeia de valor do ERP.

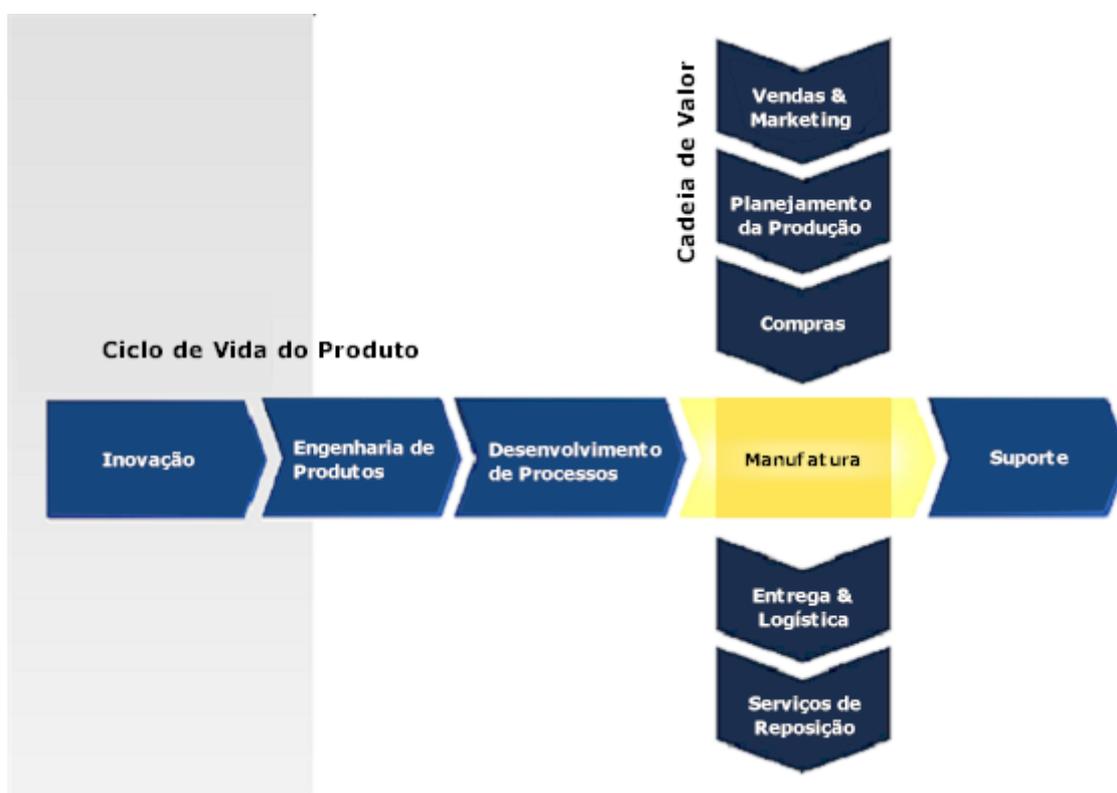


Figura 4.6 - Manufatura: Intersecção entre o fluxo do PLM e a cadeia de valor do ERP. Fonte: Artigo de Plapp (2008) da Intercim (Pertinence Suite Powered by Velocity: Intercim’s MES Solution).

Ainda como apelo, e que não deixa de ser verdade, o artigo de Plapp (2008) expõe que as indústrias de manufatura estão repensando suas estratégias de TI, em função da globalização, pressões em manter redução de custos, e conformidade. Plapp (2008) afirma que

as empresas de manufatura estão pensando cuidadosamente na padronização de suas plantas em todo o mundo, redução dos custos de conformidade e ultimamente, redução do custo total de propriedade dos sistemas de TI. Ainda, conforme Plapp (2008), de uma maneira não surpreendente, o artigo traz um relatório publicado em julho de 2007 pela AMR Research, intitulado “2007 Manufacturing Business Strategies” (Estratégias de Negócios de Manufatura 2007), onde gerentes de manufatura e gerentes de TI classificaram “a replicação de melhores práticas através da empresa”, como sendo o assunto mais importante nas iniciativas de TI em plantas de produção industrial (Figura 4.7).

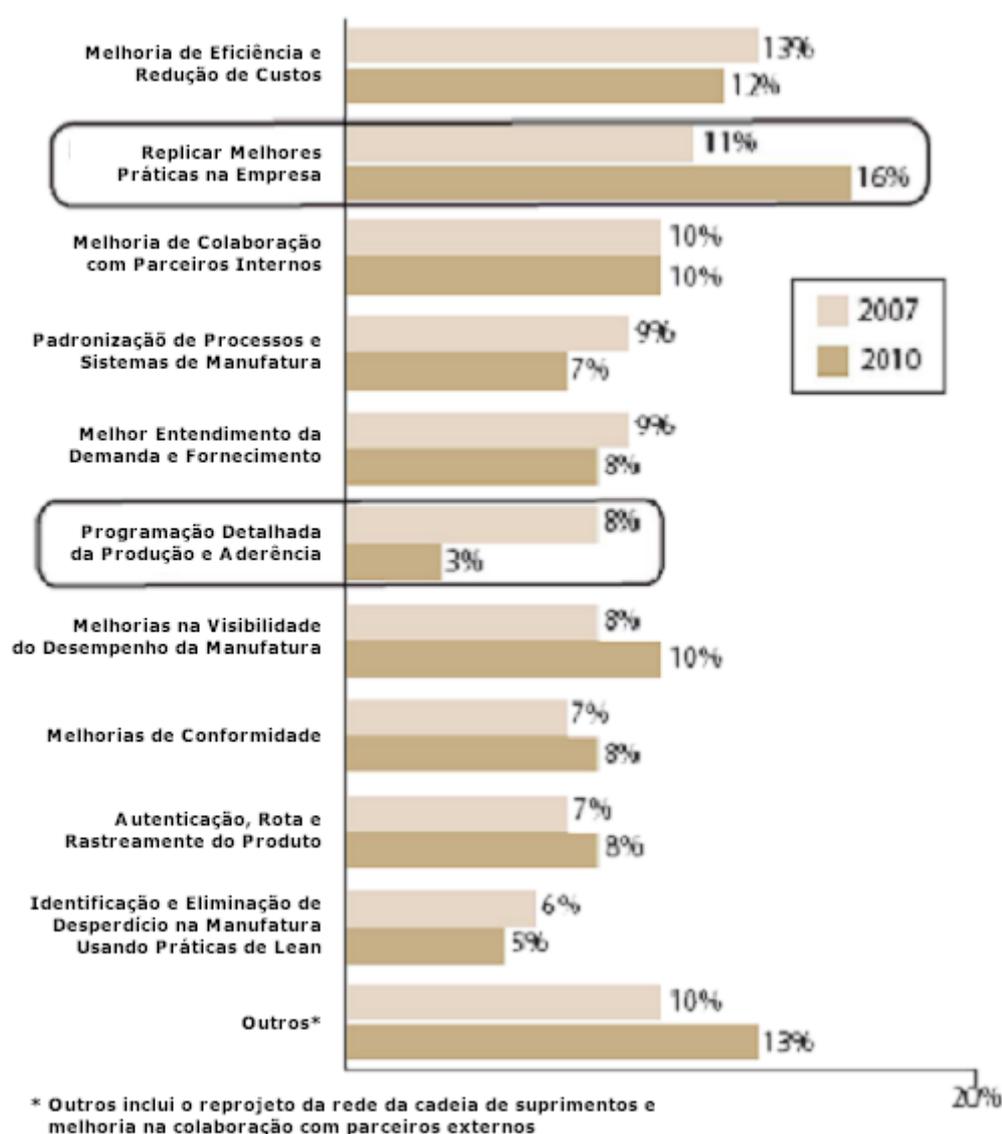


Figura 4.7 - Relatório AMR Research: “2007 Manufacturing Business Strategies” (Estratégias de Negócios de Manufatura 2007). Fonte: Artigo de Plapp (2008) da Intercim (Pertinence Suite Powered by Velocity: Intercim’s MES Solution).

No artigo, Plapp (2008) deixa claro que nos últimos anos, as empresas de manufatura com múltiplos sistemas, sistemas não integrados ou até sistemas manuais, tiveram muita dificuldade na colaboração de dados de chão-de-fábrica com informações de projeto e funções de gerenciamento de negócios. Plapp (2008) descreve as conseqüências, segundo seu entendimento:

- Informação não disponível na hora certa;
- Visibilidade “pobre” do chão-de-fábrica;
- Alto custo associado com a manutenção de muitos sistemas (além da conta);
- Aumento exagerado nos custos de expansão, como na criação de uma nova planta industrial.

Outro importante assunto citado no artigo e que releva as aplicações MES da Intercim é a abordagem “*Best in Class*”, termo que diz respeito à empresa líder ou empresa campeã no ramo de atuação. É importante perceber que empresas de manufatura “*Best-in-Class*” têm suas estratégias focadas na integração de sistemas e processos de manufatura. Plapp (2008) cita algumas ações que as empresas de manufatura devem considerar nos objetivos de se tornarem uma empresa “*Best in Class*”:

- Nas plantas de manufatura, melhore os processos que gerenciam o fluxo de materiais e informações associadas;
- Assegure que o domínio dos especialistas em manufatura e o corpo de TI trabalhem juntos com o propósito de padronizar os sistemas e aplicações usados no chão-de-fábrica;
- Na organização, propicie um sistema com arquitetura integrada como uma plataforma pública de informação para todas as plantas de manufatura.

Assim, Plapp (2008) antes de detalhar a solução MES da Intercim, inicia o artigo com algumas abordagens e posiciona conceitualmente o produto “*Pertinence Suite powered by Velocity*”. Ainda, declara que nos últimos anos, os gerentes de manufatura e os gerentes de TI estão sofrendo uma sobrecarga na pressão de alcançarem seus objetivos na

padronização de plantas de manufatura e sistemas dedicados de produção, ao invés de soluções únicas, que a maioria dos fornecedores de soluções ERP promovem. Os gerentes de manufatura e TI estão procurando por sistemas com soluções padronizadas (*off-the-shelf*), produzidas em série, e de alta qualidade (*best-of-breed*). Essa tendência proporciona a colaboração entre sistemas de engenharia, desenvolvimento, produção, qualidade e financeiros, tais como PLM, ERP, LIMS e MES, e que segundo Plapp (2008) é muito convincente para um posicionamento estratégico.

Sabendo que não existe uma única solução MES, Plapp (2008) descreve no artigo que a Intercim cuidou do produto para atender seus usuários com soluções flexíveis e configuráveis para diferentes ambientes de manufatura. Entre os ambientes de manufatura destacam-se: aqueles com baixo e médio volume de produção e alto “*mix*” (variedade) de produtos; ambientes de produção para produtos com alto valor agregado provenientes da engenharia de produtos; ambientes que exigem um relativo grau de automação de máquinas leves; ou ambientes que estão em transição para um chão-de-fábrica “*paper-less*” (digital - sem papel).

Plapp (2008) ainda declara no artigo que a solução MES da Intercim foi mapeada para os modelos funcionais da MESA International. A exemplo de vários sistemas de informação, o MES não está fundamentado numa simples função. Como visto, o MES tem funções que apóiam, guiam e rastreiam cada uma das atividades primárias da produção. Nesse sentido, a MESA identificou onze funções principais de um sistema MES. A Figura 4.8 - extraída do artigo de Plapp (2008) - traz uma ilustração do que é popularmente chamado de “*honeycomb*” (favo de mel), para um melhor entendimento das funções identificadas pela MESA.

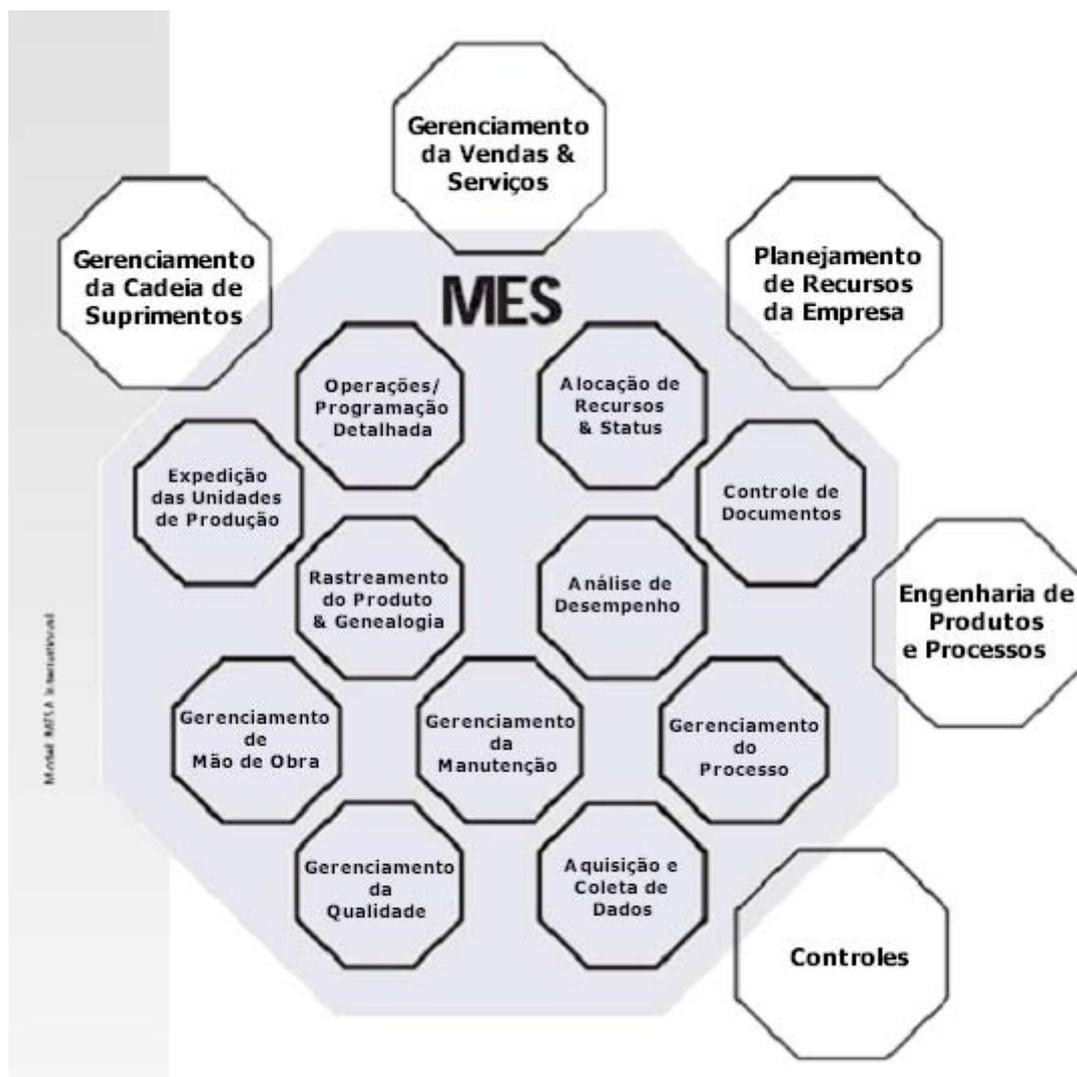


Figura 4.8 – Modelo MESA Internacional denominado “*MESA’s Next Generation Collaborative MES Model*” (Maio de 2004). Fonte: Artigo de Plapp (2008) da Intercim (Pertinence Suite Powered by Velocity: Intercim’s MES Solution).

Mais uma vez, é muito importante destacar que a Intercim, na pesquisa, foi uma das poucas empresas no mundo que, em seu posicionamento de mercado, faz questão de destacar que seu produto MES/MOM colabora com sistemas PLM além, o que é mais comum, de colaborar com sistemas ERP. Percebe-se no produto “Pertinence Suite Powered by Velocity” da Intercim uma clara evolução de conceitos e necessidades atuais de mercado. Entre os inúmeros clientes da Intercim estão a Boeing, a Honeywell, a Airbus, a Ball Aerospace, a BMW, a EADS e a US Navy - marinha dos EUA; atualmente, a Intercim conta com mais de 100.000 usuários no mundo todo. Na comercialização do produto, normalmente

a Intercim inclui os serviços de suporte que ajudam seus clientes a enxergarem rapidamente o valor que a suíte Pertinence oferece para as operações de produção. Conta com equipes de projeto e consultores em várias partes do mundo, os quais fazem questão de entender os processos de seus clientes. No Brasil, a Intercim está representada pela Multicorpos Engenharia⁶.

John Todd - presidente e CEO da Intercim – em julho de 2009 fez um importante depoimento sobre a parceria com a Multicorpos:

Até então, a grande maioria de nossos usuários está localizada na América do Norte e Europa, porém reconhecemos que existe uma enorme necessidade de nossas soluções na região da América do Sul e estamos satisfeitos em firmar a parceria com a Multicorpos para nos ajudar a ingressar nesse mercado.

Um fato importante a observar é que a Multicorpos, como representante da Dassault Systèmes - que inclui a suíte Delmia para soluções de manufatura digital, enxerga a Intercim - com a solução MES Pertinence, como um parceiro que possibilita estender as soluções de engenharia PLM até o chão-de-fábrica. Também vale ressaltar que, além da Dassault Systemès, a Intercim posiciona-se no mercado como parceira de negócios SAP e Microsoft.

⁶ A Multicorpos Engenharia iniciou suas atividade no Parque de Alta Tecnologia de São Carlos - ParqTec - como uma empresa de suporte de infra-estrutura e aconselhamento na área de negócios. A empresa se expandiu para dois escritórios, um em São Carlos e o outro em São Paulo. Gaba-se por contar - em seu quadro de colaboradores - com profissionais altamente qualificados, e também por estar próxima e alinhada com centros universitários importantes como a EESC/USP (Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo) e a UFSCar (Universidade Federal de São Carlos). Em 2005, a Multicorpos ampliou sua atuação para as áreas de manufatura, logística e suprimentos, contando com o envolvimento de profissionais da indústria automobilística, a exemplo da diretoria e gerência de manufatura da Ford South América e gerência de compras do programa Amazon. Em 2007, a Multicorpos ingressou no mercado de representação de software adicionando, em seu leque de ofertas, soluções de empresas como MSC.Software, CD Adapco, Dassault Systèmes, Intercim e VI-grade.

4.3.3 Framework (estrutura) e Funções da Solução MES “Pertinence Suite Powered by Velocity” da Intercim

Com o propósito de qualificar e explorar as competências da solução MES da Intercim, este item da pesquisa apresenta a estrutura da solução “Pertinence Suite Powered by Velocity” e suas funcionalidades. A Figura 4.9, extraída do *website* da Intercim, ilustra na forma de um diagrama, as várias capacidades e funções que a suíte oferece.

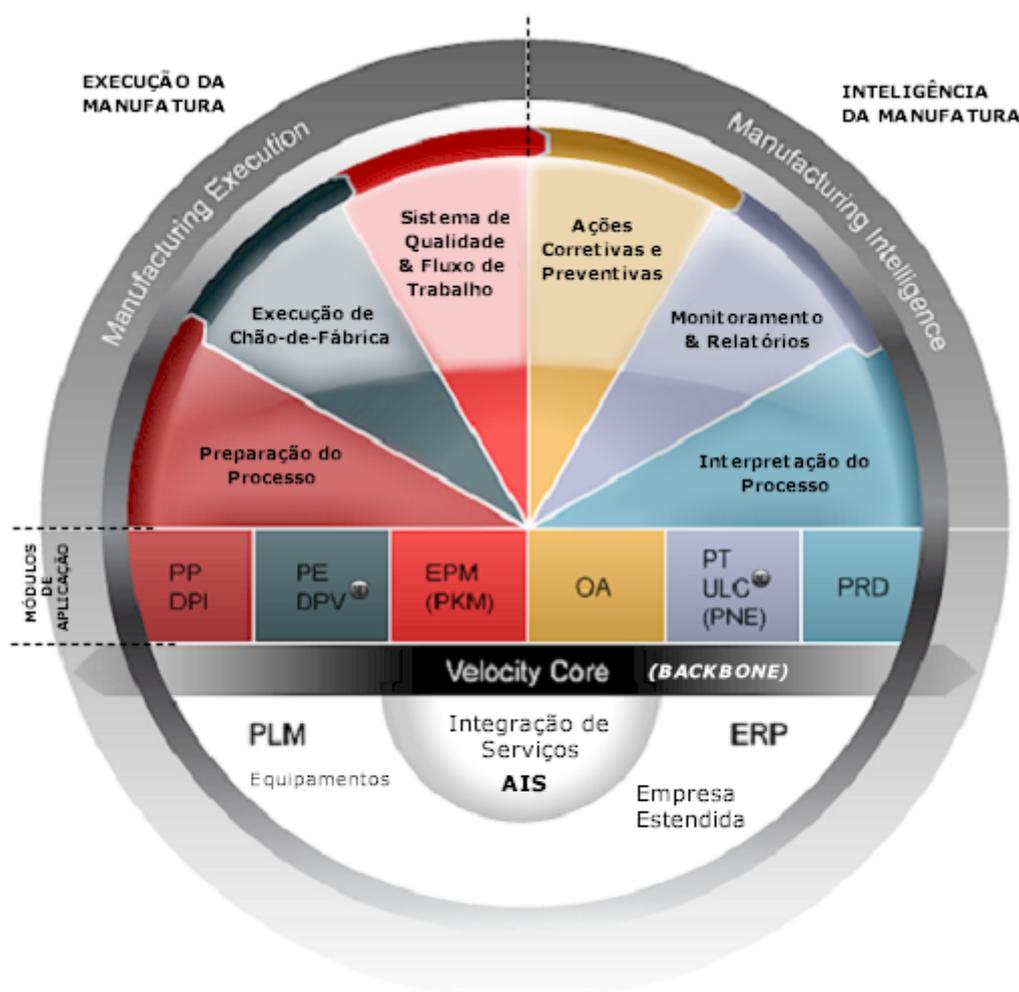


Figura 4.9 – Diagrama de capacidades e funções da solução MES “Pertinence Suite Powered by Velocity” da Intercim. Fonte: Website Intercim - (www.intercim.com) - (Adaptado).

Percebe-se que, entre os diversos sistemas MES disponíveis no mercado, a suíte de software “Pertinence” é uma das soluções mais completas quando o assunto é TI aplicada às operações de manufatura e PLM no chão-de-fábrica. A solução se identifica com os princípios *Lean Manufacturing* (Produção Enxuta), Seis Sigma e outras iniciativas para uma manufatura mais inteligente e mais responsiva. Entre seus módulos de aplicação, que englobam funções de execução de manufatura, funções de inteligência da manufatura e funções de integração e colaboração de sistemas, estão:

PP (*Process Planning*) - Planejamento de Processos

Este módulo da suíte Pertinence é uma ferramenta de projeto de processos e planejamento que permite agrupar todos os dados de produção necessários na forma de “*templates*” (gabaritos) ou documentação de processos, e ainda promete um ambiente de execução “*paperless*” - sem papel. Esses “*templates*” incluem itens como: instruções de trabalho, gráficos, possíveis irregularidades (“*buyoffs*”), listas de materiais e ferramental. Observa-se ainda que o módulo PP utiliza bibliotecas (“*libraries*”) de processos para captura e reuso de melhores práticas, com isso minimizando os esforços - e tentativas - na preparação e manutenção de “*templates*”. Em resumo, o módulo PP cria uma base de conhecimento “*knowledge*” dos processos de trabalho para uso e reuso.

PRD (*Process Rules Discovery*) - Identificação de Regras de Processos

Ao analisar o módulo PRD para identificação de regras de processos, percebe-se que, com base em dados históricos, este módulo usa uma tecnologia patenteada de reconhecimento de modelos para capturar, desde um conjunto de processos e características de produtos, até ações combinadas bem sucedidas ou aquelas que geram defeitos de qualidade. A Intercim se preocupou, neste módulo, o que ela considera melhores práticas operacionais e situações de risco, dispor de uma linguagem não muito técnica, facilitando assim a comunicação entre o chão-de-fábrica e a empresa como um todo.

PE (*Process Execution*) – Execução de Processos

O módulo PE de execução de processos da suíte Pertinence foi desenvolvido para o que a Intercim chama de “manufatura avançada de missão crítica”, nada mais do que o controle do processo. Este módulo oferece a visibilidade do chão-de-fábrica em tempo real e se empenha nos procedimentos de coleta de dados de produção, irregularidades, certificação de conformidade e regulamentações governamentais. É o registro completo dos dados históricos de chão-de-fábrica denominado “*as built*”. Verifica-se que o módulo PE também controla, em tempo real, o status WIP, a participação e autonomia dos operadores de chão-de-fábrica para evitar gargalos, peças ou partes para reposição de estoque, e outros itens que foram previstos no processo, tudo com o propósito de regular a qualidade do produto e entrega no prazo determinado, conforme o planejado.

DNC (*Distributed Numerical Control*) - Controle Numérico Distribuído

Analisando o DNC para aplicações de controle numérico distribuído, a Intercim destaca que essas funções agora fazem parte do módulo PE (*Process Execution*). Nota-se que as capacidades DNC desse módulo oferecem, segundo a Intercim, um controle completo e preciso nas execuções de programas de controle numérico NC (*Numerical Control*) e informações de “*set-up*” de máquinas-ferramenta. Pode-se receber, armazenar e gerenciar o ciclo de vida de programas NC; para cada operação de fabricação, o programa oferece uma breve descrição das máquinas disponíveis que podem executar o programa NC e, então, a programação NC é enviada - com apenas um comando - para a máquina selecionada. Depois que a máquina-ferramenta completa a operação de fabricar a peça ou lote de peças, os resultados são recebidos e armazenados no registro de dados “*as-built*”.

DPV (*Digital Work Instruction Player*) – Reprodutor Digital de Instruções de Trabalho

Aqui fica evidente que esse módulo consagra, mais uma vez, a possibilidade de integração de um sistema MES e a manufatura digital (fábrica virtual) do PLM para a melhoria de desempenho dos processos de manufatura. O reprodutor digital de instruções de

trabalho DPV da Intercim é uma solução - pronta para uso - que visualiza, dentro da suíte Pertinence, instruções 3D de execução de processos importadas da suíte Delmia da Dassault Systèmes. Para um operador de chão-de-fábrica a Intercim afirma que instruções de trabalho, que podem ser visualizadas em 3D, são muito mais efetivas para expor e tratar operações complexas. O módulo DPV tem a possibilidade de mostrar ao operador visualizações em 3D dos processos que estão sincronizadas com a produção em progresso (WIP), ainda visualizar em 3D o status atual da operação, assim como visualizar em 3D - com movimentos espaciais - como e onde uma nova peça deverá ser encaixada (“*fit*”), assim como identificar peças ausentes ainda não disponibilizadas em uma montagem. Como resultado da utilização do módulo DPV, constatou-se que os processos de produção são mais fáceis de entender, desta forma, economizando em muito o tempo do operador em tarefas mais complexas.

OA (*Operations Advisor*) - Conselheiro de Operações

O módulo OA, dentro de um escopo de inteligência para a manufatura, também utiliza a tecnologia de reconhecimento de modelos (ou padrões) no chão-de-fábrica. É composto de um painel de controle - que a Intercim denomina de “*Operations Advisor Dashboard*” - o qual alerta o operador sobre a possibilidade de riscos e, com base em melhores práticas operacionais e situações de incertezas, propõe ações preventivas e corretivas. Dentro do que foi visto, o mais importante é entender que sistemas que funcionam em tempo real monitoram e analisam riscos de falhas de qualidade e alertam os operadores de fatos que ainda podem ser corrigidos a tempo. Nesse sentido a Intercim tem o bom grado de dizer: “O painel de controle do módulo OA não apenas reduz a possibilidade de cometer o mesmo erro duas vezes, como também aumenta a chance de que o erro não aconteça da primeira vez”.

EPM (*Emergent Process Management*) - Gerenciamento de Imprevistos

O módulo EPM é uma ferramenta de fluxo de processos que pode ser configurada e permite tratar qualquer acontecimento inesperado de processo ou de produto. Pode-se acionar, de qualquer parte da cadeia, interna ou externa, ações corretivas no fluxo de processos - proveniente de anomalias, defeitos ou não conformidade, para realinhar a

engenharia, funções de qualidade ou mesmo ajustar os procedimentos dos operadores de chão-de-fábrica. Verificou-se que o módulo EPM pode ser usado, além da área de qualidade, para rastrear peças em experimentação, aprovação de documentos ou outros processos não padronizados. Outra vantagem é que todos os dados são registrados e gravados, o que oferece uma completa rastreabilidade para assegurar conformidade regulatória.

PT (*Performance Tracker*) - Rastreador de Desempenho

O módulo PT para identificar o desempenho da produção também é disponibilizado na forma de um painel de controle (*dashboard*). A principal característica percebida é que este módulo alinha as melhores práticas operacionais com as métricas estabelecidas (indicadores de desempenho) e alerta sobre qualquer falta de controle ou inconsistência, perda de rendimento, alteração nos tempos de ciclo, desajuste de mão de obra, irregularidades na origem de materiais e uma série de outros itens importantes nos processos de manufatura. Este módulo pode ser usado como uma solução “*standalone*” (independente), ou pode ser inclusive incorporado a sistemas ERP para auxiliar o controle da produção.

ULC (*Production Unit Live Collaboration*) - Colaboração *On-line* dos Dados de Produção

Este módulo, o qual a Intercim denomina de ULC - “*Unit Live Collaboration*” (colaboração ativa ou dinâmica da produção) - oferece aos gerentes e engenheiros da área de qualidade a capacidade de interpretar os dados de produção de forma confiável e segura. Ao analisar este módulo, nota-se que ele dispõe de ferramentas de visibilidade 3D para atividades avançadas de produção, desde tarefas específicas até subconjuntos mais complicados. Por oferecer visibilidade em tempo real nos ambientes de manufatura, as equipes de produção, engenharia e qualidade podem colaborar para tomadas de decisão mais rápidas, inclusive antes de uma nova programação.

Velocity Core – Núcleo Velocity

O “Velocity Core” é a espinha dorsal (“*backbone*”) da suíte Pertinence e a base para toda a lógica de regra de negócios e compartilhamento de dados. Ainda, por hospedar funções de administração e armazenagem de dados e oferecer critérios de segurança, o “Velocity Core” se caracteriza como uma camada relacional, a qual permite a comunicação entre todos os módulos da suíte Pertinence.

DPI (*Digital Process Integrator*) – Integrador Digital de Processos

O DPI - *Digital Process Integrator* - responsável pela integração digital dos processos de produção na suíte Pertinence é um outro módulo que faz da colaboração entre MES e PLM uma realidade. A Intercim afirma que a estreita integração entre o projeto virtual e a manufatura real é uma necessidade indispensável no mundo da manufatura de hoje. Como uma solução pronta para uso, o módulo DPI colabora o planejamento de processos e a capacidade de instruções de trabalho 3D oferecidas pela suíte PLM da Dassault Systèmes com o módulo de execução de processos PE da suíte Pertinence. Fica constatado que essa integração diminui o custo operacional dos sistemas MES, principalmente por automatizar a geração de ordens de produção em ambientes 3D de visualização. O módulo DPI também pode ser configurado para suportar ordens de produção provenientes da maioria dos sistemas ERP, inclusive agrupando as ordens por clientes.

AIS (*Advanced Integrated Service*) – Integração Avançada

Com base na arquitetura de serviços SOA - *Service Oriented Architecture* - o AIS - *Advanced Integration Services* - da Intercim foi construído com uma infra-estrutura de TI que proporciona uma fácil integração entre a suíte MES Pertinence e outras aplicações complementares, a exemplo da integração com PLM, ERP, sistemas de automação e controle de chão-de-fábrica. Além da tecnologia “*mobile*” (móvel) - com dispositivos portáteis de comunicação - o AIS pode colaborar dados com posições “*upstream*” que começam no computador do usuário e termina no provedor de acesso à Internet, como no caso de aplicações PLM, até posições “*downstream*”, que são dados que vem do provedor de acesso

rumo ao computador do usuário, como no caso de sistemas ERP. O AIS é baseado na tecnologia XML - *Extensible Markup Language* - padrão universal para a escrita de documentos de hipertexto (HTML) usados na Web. Ainda, o AIS é compatível com os padrões de troca de dados ANSI/ISA-95 e ANSI/ISA-88.

4.3.4 Características e Tecnologia Empregada na Solução MES “Pertinence Suite Powered by Velocity” da Intercim

Identificou-se que a principal característica das tecnologias empregadas na construção da suíte “Pertinence” foi o de tirar o máximo proveito dos atuais ativos de TI (o legado). Em outras palavras, embasada na arquitetura .NET da Microsoft, a suíte “Pertinence” é uma solução “*thin client*” (computador cliente) que roda no conceito “*web-based*” (baseado na Web), que são computadores interligados e distribuídos conectados a servidores na Internet e usam a tecnologia de portal. Com essa tecnologia, usuários familiarizados com o Internet Explorer - nome dado ao *browser* (navegador) da Microsoft para a Internet - quer seja no chão-de-fábrica ou em qualquer outro local, dentro ou fora da organização, podem ter acesso a toda suíte “Pertinence”. É uma arquitetura de sistema orientada a serviço SOA - *Service Oriented Architecture*, baseada na *web*, que permite um número ilimitado de estações de trabalho e intensa flexibilidade e interoperabilidade dentro e fora da empresa. Isso acontece graças à camada AIS - *Advanced Integration Services* - da Intercim que permite integrar a suíte “Pertinence” a outras aplicações. A Figura 4.10 apresenta, de uma forma esquemática, as características de arquitetura da suíte “Pertinence”.



Figura 4.10 - Características de arquitetura da suíte "Pertinence". Fonte: Website Intercim - (www.intercim.com).

Outras características foram percebidas na suíte "Pertinence" como a facilidade de escalabilidade (*scalability*), que é a propriedade de estar preparada para o crescimento ou a propriedade de ajustar a configuração e tamanho da estrutura de TI para novas condições de uso. Essa característica favorece situações exigidas pela indústria, no que diz respeito a balancear cargas de trabalho entre vários dispositivos e também conciliar inúmeros usuários sem comprometer o desempenho. Ainda, nota-se que a suíte "Pertinence" permite a tecnologia "mobile" (móvel), e o uso de uma variedade de dispositivos portáteis, a exemplo de telefonia celular. Qualquer computador pessoal com o *Internet Explorer* instalado pode executar o sistema, coletar dados, prover aprovações, confirmar autorizações e usar de toda a capacidade da suíte "Pertinence".

Outra característica é que a suíte “Pertinence” é comercializada no conceito COTS (*Commercial-off-the-shelf*), em outras palavras, é um produto pronto para a venda. Isso reduz o custo de desenvolvimento, custo de manutenção do sistema e custo de “*upgrade*” (atualização). O produto é configurável e adaptável, não requer escrever ou reescrever códigos de programação, e permite que os usuários personalizem o produto de acordo com as necessidades de processo e melhores práticas de manufatura. Identifica-se também que a suíte MES “Pertinence” se integra com todo o legado de TI da empresa e da rede de fornecedores, principalmente se a integração ocorrer com sistemas ERP da SAP ou sistemas PLM da Dassault Systèmes. Essa interoperabilidade permite que os usuários se comuniquem - em tempo real - e visualizem o “status” (situação) e as informações do chão-de-fábrica, dos sistemas PLM, e de outros sistemas de gestão e gerenciamento de negócios. Ainda constatou-se que a suíte é, de forma geral, compatível com os padrões de integração ISA-95 e ISA-88.

As tecnologias empregadas na suíte “Pertinence” da Intercim seguem, via de regra, padrões de mercado. Percebe-se que a Intercim é extremamente preocupada com a aceitação do produto e, em função disso, mantém criteriosas pesquisas e testes para cada tecnologia utilizada. Tudo para assegurar o desempenho do produto, a confiança e a facilidade de uso. A Tabela 4.1 traz as principais tecnologias utilizadas na suíte “Pertinence” e suas respectivas características.

Tabela 4.1 - Características de arquitetura da suíte “Pertinence”.

(Tecnologias utilizadas e características Cliente-Servidor da suíte
“Pertinence Suite Powered by Velocity”)

Tecnologias utilizadas	<p>Produto baseado na tecnologia Microsoft.NET - comumente conhecido por .NET Framework - em inglês: “<i>dotNet</i>” - O .NET Framework é um componente essencial do Windows que oferece suporte à criação e execução de aplicativos e serviços XML da WEB. O .NET Framework oferece um ambiente de programação consistente orientada a objetos, que é um modelo (padrão) de análise, projeto e programação com base na composição e interação entre diversas unidades de software, chamadas de objetos.</p>	
	Tecnologias do “lado Cliente”	Internet Explorer
	Tecnologias do “lado Servidor”	<p>Microsoft IIS</p> <hr/> <p>XML / XSLT para integração de dados (segundo a Intercim, com melhor custo benefício)</p> <hr/> <p>ADO/OLE DB para base de dados Access</p> <hr/> <p>Microsoft BizTalk “<i>framework</i>” (estrutura de desenvolvimento) e IBM WebSphere para integração corporativa</p>

		<p><i>Web Services</i> para comunicação simultânea (“<i>synchronous</i>”)</p> <p>Microsoft SQL Server Analysis Services (para análises)</p> <p>Microsoft SQL Server Reporting Services (para relatórios)</p> <p>SOAP & UDDI</p> <p>Servidores de dados: Oracle, MS SQL Server</p>
Características de integração Intercim	XML “ <i>output</i> ” de qualquer evento	Conjunto de regras de negócios baseadas em melhores práticas
Capacidade de multi-plataformas – “ <i>Cross Platform</i> ”	XML Web Services Support	Neutral Data Exchange (XML)
	HTTP XML Exchange	
	SOAP	

Fonte: Website Intercim - (www.intercim.com).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Este capítulo, de forma pragmática, se preocupa em sumarizar as iniciativas da maturidade da manufatura digital do PLM, sintetiza a colaboração das soluções de TI no “estado da arte” que integra o conceito PLM e valoriza a utilização dos sistemas MES no planejamento e controle dos processos de manufatura. O objetivo é concluir a resposta da pesquisa: - **Quais os benefícios obtidos na colaboração entre sistemas MES e sistemas de Manufatura Digital do PLM no planejamento dos processos de manufatura?**

Com o propósito de se apropriar de todos os conceitos abordados, o capítulo traz um “diagrama de colaboração da informação” como resultado dos cenários estudados, principalmente para auxiliar melhores tomadas de decisão no âmbito do projeto de chão-de-fábrica, planejamento de processos e gerência da produção. Este capítulo ainda conclui quanto os sistemas MES podem ter seu valor ampliado se integrados dentro das características de funcionalidades do conceito PLM. O capítulo também traz algumas recomendações sobre a portabilidade das informações, comenta sobre as lições aprendidas e apresenta sugestões de trabalhos futuros que inclui o gerenciamento de processos de negócios BPM (*Business Process Management*) para uso das abordagens e tecnologias PLM, MES e ERP.

A pesquisa procurou se apoiar muito mais em casos e cenários de mercado do que na conceituação de autores clássicos, até porque o tema é extremamente novo e incipiente - está no início e com muitas promessas. O retrato do mercado - na forma de diagnóstico e de

forma exploratória - propiciou uma visão do estado real da colaboração e da interoperabilidade das informações nos estágios de desenvolvimento de produtos, planejamento de processos de manufatura, chão-de-fábrica em nível de gerenciamento, automação e controle, assim como nos processos de gestão da produção que englobam os sistemas ERP. Pôde-se perceber que integrar dados de sistemas de execução de manufatura MES aos ambientes de planejamento de processos de produção industrial com o uso de softwares de manufatura digital em ambientes PLM é uma realidade.

A pesquisa ainda constatou que as necessidades e estratégias atuais das empresas de manufatura estão na adoção da filosofia *lean*, manufatura ágil, manufatura *just-in-time* e processos de desenvolvimento DFX (*Design for Manufacturing, Design for Assembly etc.*). Yogesh Modak (2008), com pelo menos dez anos de experiência em práticas de manufatura digital para a Geometric Limited, de origem indiana, confirma e deixa claro, em seu artigo “Maturity Assessment of Digital Manufacturing Initiative”, que as soluções de manufatura digital suportam todas essas estratégias e eliminam o “*gap*” (lacuna) entre o desenvolvimento de produtos e a produção, em outras palavras entre “o que” fabricar (*what to manufacture*) e “quando, onde e quanto” produzir (*when-where-how much to manufacture*) e responde “o como” fabricar (*how to manufacture*) que inclui os processos de produção. As soluções de manufatura digital criam a relação lógica entre as definições do produto “*as-designed*” e o realizado “*as-built*” por oferecer as definições de planejamento “*as-planned*”. Esse conceito vem de encontro, por exemplo, com o apresentado por Mayer e Plapp (2008) da Intercim no item 4.3.1 dessa pesquisa que comentam sobre a manufatura digital do PLM no chão-de-fábrica, assim como com as abordagens de Michael Grieves (2006), com o CPAS - *Collaborative Process Automation Systems*, apresentado por Martin Hollender (2009) e Dave Woll (2009), que relevam um modelo colaborativo de automação de processos, com o RPM - *Real-time Performance Management* para o gerenciamento de desempenho de produção em tempo real, e com os conceitos estabelecidos pela Dassault Systèmes, Siemens AG e Siemens PLM Software, descritos nas apresentações de suas suítes de produtos, entre muitos outros conceitos de profissionais e empresas apresentados nesta pesquisa.

Pode-se concluir que as soluções de manufatura digital, em sua estrutura, oferecem componentes para planejamento, simulação e gerenciamento de processos de manufatura que englobam, em todas as circunstâncias, o gerenciamento de dados e mudanças e a colaboração baseada na “*web*”. Ainda, um outro grande desafio está na integração de áreas

que participam desse processo. Modak (2008) relata que isso pode ser alcançado através de uma avaliação sistemática das necessidades do negócio e da identificação do nível de maturidade atual de implementação de cada componente das soluções de manufatura digital. Exemplos visíveis desses componentes são as ferramentas de 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 avaliação sistemática também auxilia a modelagem de processos de negócios para decisões de investimentos e ainda na definição do “*roadmap*” (mapa de fluxo) para a implementação da manufatura digital de uma forma correta.

Como conclusão pode-se dizer que a manufatura digital do PLM acelera a introdução de novos produtos NPI (*New Product Introductions*), reduz o “*time-to-volume*”, otimiza a execução da produção, diminui os custos de produção e assegura sobretudo a qualidade dos produtos e dos processos de manufatura. A manufatura digital, como síntese, facilita a colaboração entre o projeto do produto, a engenharia de processos e o ambiente de chão-de-fábrica. A manufatura digital, nos ambientes modernos de produção, está integrada com aplicações de software tais como CAD/CAM, PDM, MES, ERP, entre outras. É um ambiente de simulação, visualização e colaboração que permite a comunicação e o compartilhamento de dados efetivos dentro da organização e também no conceito de empresa estendida, que inclui todos os colaboradores internos e externos. A Figura 5.1, extraída do artigo “Maturity Assessment of Digital Manufacturing Initiative” de Modak (2008), conclui a representação da manufatura digital em um ambiente PLM estendido.



Figura 5.1 - Manufatura digital em um ambiente PLM estendido. Fonte: Artigo “Maturity Assessment of Digital Manufacturing Initiative” de Yogesh Modak.

Percebe-se claramente a valorização do MES no planejamento dos processos de manufatura, por colaborar as mesmas listas de materiais MBOM (*Manufacturing Bill of Materials*) e as mesmas listas de processos (BofP - *Bill of Process*) no ambiente de dados da manufatura digital. Para reforçar a conclusão desta pesquisa, Michael Gireves (2007) no *white paper* denominado “Multiplying MES Value with PLM Integration” confirma que o MES tem um papel importantíssimo ao fechar o “*gap*” que existe entre a simulação e a realidade de chão-de-fábrica. Na fase de produção “*ramp-up*” as informações do sistema MES são essenciais para ajustar as listas de processos BofP provenientes da fase de construção do primeiro produto onde essas listas são geradas. A pesquisa como um todo pôde constatar, de fato em diversas situações, que o uso do conhecimento extraído de dados históricos de chão-de-fábrica provenientes de sistemas MES, quando aplicados em sistemas de fábricas virtuais do PLM, proporcionam melhores tomadas de decisão no âmbito do planejamento de processos produtivos.

Grievies (2007) ainda deixa claro, como consequência da pesquisa, que o MES oferece um “*link*” entre o PLM e os sistemas ERP, reforçando todos os conceitos de colaboração observados. Uma vez os produtos criados no ambiente PLM, as transações para fabricação do produto usualmente são de responsabilidade do ERP. Esses produtos são manufaturados a partir de uma definição virtual que essencialmente tem início no PLM. Como parte da estrutura do PLM, o sistema MES pode ter seu valor amplificado, criando

maiores oportunidades de eliminar custos desnecessários por alavancar o uso da informação com melhor valor agregado.

Como resultado final da pesquisa e principalmente para auxiliar melhores tomadas de decisão no âmbito do planejamento de processos de manufatura, projeto de chão-de-fábrica e gerência da produção, a Figura 5.2 consolida um “diagrama de colaboração da informação” inspirado no cenário exposto por Jürgen Kletti (2007) em sua obra “Manufacturing Execution System - MES” (item 2.3 desta pesquisa). Conclui-se que o valor da informação é diretamente proporcional a quanto atualizada ela está e como a informação pode, de uma forma ampla, estar disponível para os processos de colaboração. A expressão “*a single version of the truth*” (uma versão única da verdade), usada muitas vezes nesta pesquisa, vem de encontro às tendências atuais dos sistemas MES de estabelecer colaboração entre várias outras soluções incluindo a manufatura digital do PLM. Deve-se compreender e prestar especial atenção - no tocante ao MES - que, além do sistema auxiliar o planejamento e controle da produção, suas informações podem ser colaboradas proporcionando melhor “visibilidade” da fábrica, nos processos técnicos, operacionais de chão-de-fábrica, comerciais e de negócios. Dentro do cenário de TI industrial, o MES é considerado como o sistema central de informações (*backbone*) que atua como o principal elemento entre o chão-de-fábrica e o universo de TI, auxiliando tanto iniciativas estratégicas como decisões operacionais.

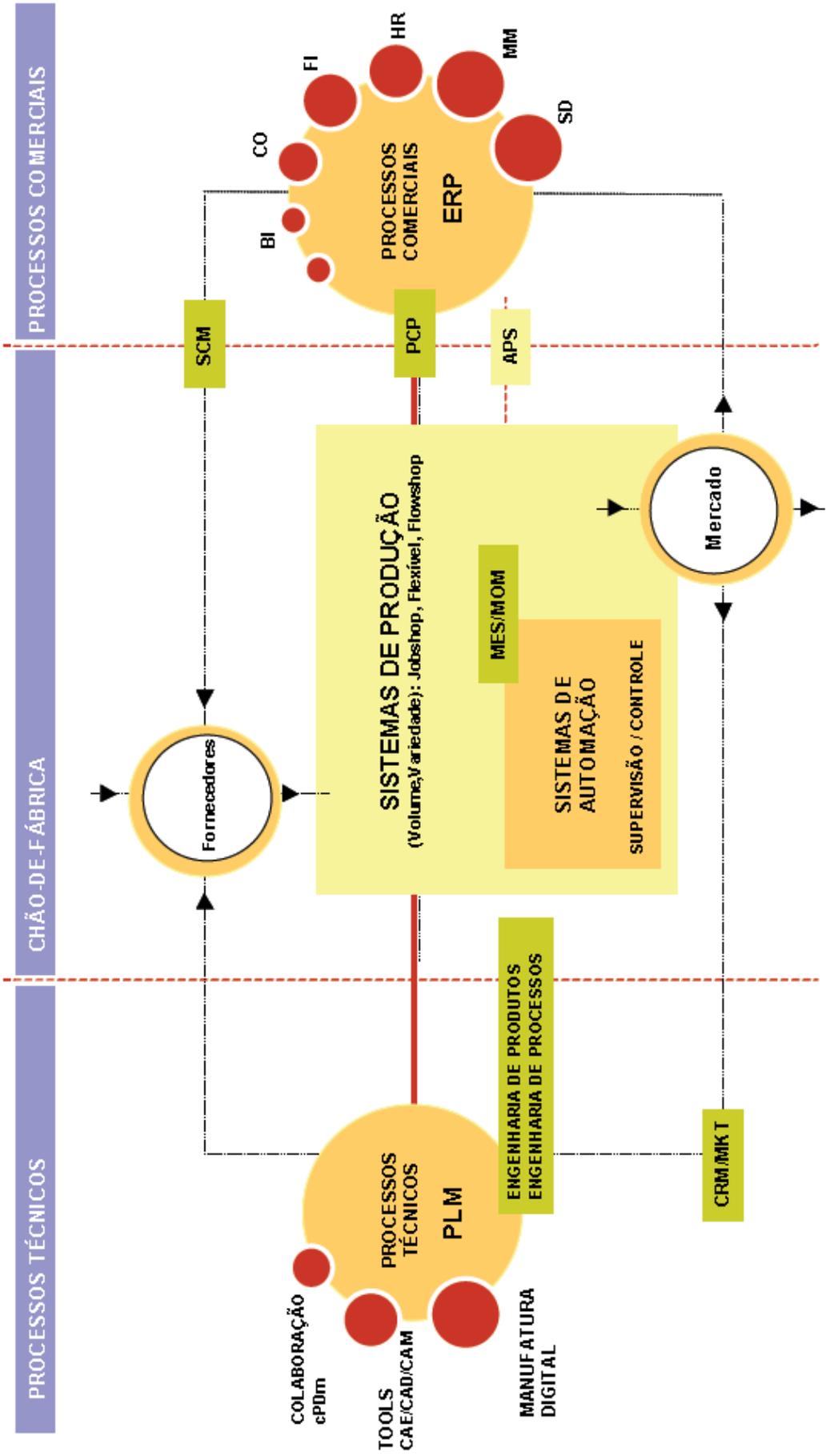


Figura 5.2 – Diagrama de Colaboração da Informação - Cenário de colaboração da informação como resultado da pesquisa - (Elaborado pelo autor).

5.1 RECOMENDAÇÕES - PORTABILIDADE DAS INFORMAÇÕES

A falta de conexão e interação, principalmente entre os dados dos sistemas envolvidos, com o planejamento e gerenciamento da produção em tempo real, impede a movimentação de ações de portabilidade de informações nos procedimentos de definição de produtos e processos, nas ações de chão-de-fábrica e no ambiente de gestão. Na pesquisa, percebeu-se um grande apelo nesse sentido quando Seixas Filho (2006) comentou a norma ANSI/ISA-S95 na revista InTech. A norma S-95 foi a mais citada por todas as pessoas e empresas empenhadas na comunicação entre aplicações MES de chão-de-fábrica e sistemas de gestão ERP. Um dos principais fatos para essa aceitabilidade, como comentado na pesquisa, foi o evento realizado em New Orleans (2004), onde a SAP anunciou que estaria estabelecendo um conjunto de padrões de interoperabilidade para comunicar sistemas industriais com sistemas de negócios.

Naquele momento foi criado um grupo denominado P2B (*Plant to Business*), composto pelos membros do ARC Advisory Group, por membros da SAP e por provedores de soluções desse mercado que, entre os principais objetivos, estavam o de adotar a norma ANSI/ISA-S95 como padrão e considerar os esquemas gerados pelo WBF-B2MML - *World Batch Fórum - Business to Manufacturing Markup Language* - que consiste de implementações em XML (*eXtensible Markup Language*), os quais, segundo a norma S-95, formam o padrão de portabilidade de informações com a facilidade de compartilhamento através da *web*.

Outro fato importante foi o comentário feito por Seixas Filho (2006) sobre a Parte 2 da norma S-95. Ele descreve que esta parte da norma oferece um grande auxílio para a organização de bancos de dados relacionais para uso com os sistemas MES. Essa abordagem representa um avanço em direção a implementação de interfaces entre o chão-de-fábrica e os sistemas de gestão. Baseada na Parte 2 da norma ANSI/ISA-95.00.02, criada em 2001, o WBF desenvolveu esquemas XML para cada mensagem definida no sistema MES (produção, manutenção, qualidade e inventário). Formou-se o formato “.xsd” que representa as definições dos esquemas XSD (*XML Schema Definition*), recomendado desde 1999, pelo consórcio W3C, responsável por vários padrões da *web*. É graças ao formato “.xsd” que os

resultados obtidos em vários sistemas MES podem ser apresentados em vários portais como os da Microsoft, SAP e portais proprietários.

Ainda que se recomende padrões de portabilidade de informações para a correspondência entre sistemas MES e sistemas ERP, a pesquisa deixa subentendido no item 2.3 (MES e PLM no Cenário de Colaboração de Soluções de TI) que esses padrões podem, de forma análoga, ser estendidos para o ambiente PLM. Embora a norma ANSI/ISA-S95 não explique como construir tais bancos de dados relacionais, nem sob o aspecto tecnológico, nem sob o aspecto de formato de mensagem, as mensagens podem ser em estruturas binárias ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), que em português significa "Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação"), como codificadas na forma de documentos XML. Kletti (2007) dá sua opinião sobre a portabilidade de dados dos sistemas MES em relação a outras aplicações. Diz que todos os esforços nessa direção se devem a redução de custos de produção, eficiência econômica, economia de despesas administrativas e principalmente redução de custos de TI.

5.2 LIÇÕES APRENDIDAS - PLM, MES E ERP

De tudo o que foi visto, pode-se tirar algumas lições aprendidas:

- Percebe-se claramente que o ambiente de simulação, proporcionado pelas funções da fábrica virtual do PLM, pode servir de via entre o sistema MES do ambiente de produção e a abordagem PLM no ambiente de engenharia;
- Nos tempos modernos, a MESA deixa claro que é necessário ter uma solução técnica à prova de erros de tal forma a planejar a capacidade e capacidade de produção. Dessa forma, a MESA ainda adiciona que a abordagem PLM se faz necessária para integrar digitalmente a informação de uma forma correta. Cita que, para simular virtualmente o desempenho e custo do produto, o objetivo maior do PLM é apoiar o desenvolvimento de produtos que realmente possam ser fabricados com base na capacidade da planta e capacidade dos processos;

- Uma outra área que vem ganhando uma significativa importância é a integração do PLM com a automação da fábrica, onde a simulação digital da automação pode ser realizada;
- O gerenciamento das informações quer seja na definição de produtos, na definição de processos ou no controle e planejamento da produção, levou as empresas a adotarem posturas de competitividade que relevam novos ambientes de colaboração. Nesse sentido a região de intersecção entre automação e PLM, e a região de intersecção entre automação e ERP, formam uma via de colaboração e fortalecimento no compartilhamento de informações relacionadas ao produto, provenientes dos dois ambientes - PLM e ERP. Embora não seja a única, é uma via que oferece excelentes oportunidades de melhor integrar toda a empresa de manufatura;
- Os provedores de soluções PLM, assim como a CIMdata e outras entidades, defendem que quanto mais abrangente for a área de cobertura do PLM, maior será a aceleração de desempenho das empresas e, como consequência lógica, mais completa a integração e automação da fábrica;
- Dentro da abrangência do PLM, a manufatura digital é obviamente o ponto principal de integração com a automação da fábrica. Além disso, a tendência de integrar sistemas de manufatura digital DM - *Digital Manufacturing* - com sistemas de execução de manufatura MES tornou-se evidente, principalmente por facilitar a via de realimentação necessária para melhor entender o impacto dos projetos de processo e produto nas instalações e chão-de-fábrica.

5.3 TRABALHOS FUTUROS - BPM (*Business Process Management*)

Para dar prosseguimento e colocar em prática o tema “Colaboração entre os Sistemas MES e a Manufatura Digital do PLM” a pesquisa identificou que um dos caminhos é a formatação e aplicação de “modelos de processos de negócios” - estruturados em BPM

(*Business Process Management*) - com base nos resultados obtidos e que relevam a colaboração e integração de dados entre sistemas de execução de manufatura MES e sistemas de manufatura digital do PLM para uso, como apoio de decisões e procedimentos, em sistemas ERP, mais especificamente em aplicações de planejamento e controle da produção PCP. Os resultados - aplicados como novos modelos de negócios nas organizações - oferecem ganhos significativos e evitam desperdícios de recursos como tempo de produção, instalações desnecessárias, gastos com materiais, tempo de preparação de máquinas, roteiros e seqüenciamentos indesejados e melhoram as condições de competitividade das empresas.

O BPM ou “Gerenciamento de Processos de Negócios” é uma abordagem que identifica, projeta, executa, documenta, avalia, monitora e controla processos de negócios automatizados e não automatizados, para conseguir consistência e resultados focados alinhados com os objetivos estratégicos das organizações. O BPM envolve propósitos, colaboração e definições progressivas auxiliadas por tecnologia, aprimoramento, inovação e gerenciamento de processos de negócios “*end-to-end*” (do começo ao fim), que conduzem a resultados comerciais, cria valor e permite que uma organização encontre seus objetivos de negócios com mais agilidade. O BPM permite que uma empresa alinhe seus processos de negócios às suas estratégias de negócios, conduzindo para um efetivo desempenho da companhia como um todo, através de melhorias de atividades específicas de trabalho, assim como departamentos específicos, na empresa ou entre organizações (ANTONUCCI *et al.*, 2009).

Jeston e Neli (2008), na obra *Business Process Management - Practical Guidelines to Successful Implementations*, afirmam que nos anos 80, a gestão pela qualidade total (TQM) estava no foco das prioridades das empresas. No início da década de 90, Michael Hammer e James Champy lançaram o artigo "Don't automate, obliterate" pela *Harvard Business Review*. Esse artigo foi o marco da chamada onda de BPR (*Business Process Reengineering*) ou reengenharia de processos, com sucessos e insucessos. Jeston e Neli (2008) também comentam que, na metade e no final da década de 90, os sistemas ERP ganharam destaque e eram vendidos como a solução de todos os problemas. Isso não é verdade, porque segundo eles, o ERP não resolvia os problemas de processos de negócios das organizações. Em 2006, Howard Smith e Peter Fingar lançaram o livro "*Business Process Management: The Third Wave*" com os conceitos de gerenciamento de processos de negócios. O BPM se tornou então o assunto mais importante nas empresas. Como

especialistas em TI, os autores focaram o BPM como sendo uma automação de processos através de ferramentas de software.

Como trabalho futuro, esses novos modelos BPM - baseados na integração do MES e a manufatura digital do PLM - têm o propósito de monitorar e otimizar o andamento dos processos de controle e dos processos de planejamento da produção. Os gestores e analistas poderão - através desses novos padrões de modelos de negócios - replicar resultados otimizados provenientes de fábricas digitais em ambientes industriais reais, com o principal objetivo de alcançar os resultados das empresas. Deve-se entender que BPM é uma metodologia atual, com foco em melhoria de processos de negócios, para que empresas possam alcançar os resultados esperados, que incluem lucratividade, satisfação dos clientes, otimização de custos, melhoria de qualidade e muitos outros objetivos de desempenho.

O BPM faz uso de melhores práticas de gestão e ferramentas de TI e inclui em seu escopo, entre outros, mapeamento de processos, modelagem, redesenho, implementação, monitoramento, otimização de processos, automação, indicadores de desempenho e ciclo de melhoria contínua. Ainda, como trabalho futuro, a meta é esclarecer as vantagens de gerenciar uma organização industrial por processos e colaborar no aprendizado de como identificar e controlar os processos críticos em função de estratégias. Sabe-se que a fidelidade das informações de manufatura se tornou fundamental no sentido de monitorar e medir o desempenho das operações e alinhar pessoas, processos e negócios.

Exemplos extraídos da pesquisa são as suítes de soluções de manufatura digital Delmia e Tecnomatix avaliadas como um conjunto abrangente de ferramentas interdisciplinares que afetam diretamente os processos de negócios das empresas de manufatura, influenciando e propiciando, de uma forma direta, a engenharia colaborativa e os processos de tomadas de decisão. Nesse sentido, a pesquisa destacou a “manufatura digital” como uma ferramenta chave da atual “manufatura colaborativa” e inclui a manufatura digital como uma das ferramentas de visibilidade dos processos de negócios nas operações de produção. Outro destaque ficou por conta do cPDm - *collaborative Product Definition management*. O cPDm favorece a combinação de processos de melhores práticas, tecnologias e integração de aplicações corporativas, a exemplo das soluções de software Enovia da Dassault Systèmes e Teamcenter da Siemes PLM Software.

A pesquisa também deixou claro que o aspecto de integração do PLM com o chão-de-fábrica não está completo; tem muito a se desenvolver, principalmente na criação de melhores conexões (interfaces) e vários itens importantes de colaboração no ciclo de vida do produto. O BPM pode colaborar por mapear os processos de negócios atuais das empresas de manufatura e propor melhorias com o uso da integração do MES e PLM nos ambientes de planejamento e controle da produção. Essas melhorias podem proporcionar enormes vantagens para seus clientes no aperfeiçoamento de processos críticos de negócios. O resultado está em um melhor planejamento e validação dos processos de manufatura antes de um produto ser produzido. O BPM permite que a combinação das tradicionais simulações CAD com o fluxo de processos de negócios seja consolidada de uma nova forma: a manufatura digital.

O fluxo de informações que engloba o projeto, a simulação, a validação, a manufatura e o descarte de produtos inovativos necessitam de ações em tempo real e colaboração global entre pessoas, processos P&D, planejamento, fornecedores externos, desenvolvimento e lançamento de produtos. Ao revisar e organizar os objetivos, reconstruir e repensar as práticas de negócios, pode-se aliar os procedimentos do BPM convertidos em um conjunto estruturado de processos de negócios e enriquecidos com a aplicação dos sistemas de informação.

Um outro exemplo claro da pesquisa são os “*Accelerators*” (Aceleradores), da suíte Delmia V6, cujo objetivo é o de melhorar o tempo de implementação através de soluções de processos de negócios (*business processes*) e melhores práticas para segmentos específicos de indústrias. Mais um exemplo da pesquisa é o software Teamcenter, que integra soluções específicas de disciplinas, consolida conhecimentos, faz uso da arquitetura aberta orientada a serviço SOA e permite integrar sistemas CAM, ERP e MES a ambientes PLM. Constatou-se também que os ambientes de manufatura devem estar aptos a suportar alternativas de estratégias de negócios, estruturados em classes de soluções de negócios, com modelos de processos padronizados e instruções de trabalho automatizadas. O BPM permite combinar a modelagem de processos de negócios em plataformas de modelagem e ajustar seus processos de negócios às solicitações de demanda de mercado. Mayer e Plapp (2008) também afirmam que a consistência do fluxo de trabalho está na confiança e repetibilidade do processo, que é a base do BPM. Todos os ambientes de manufatura, que incluem a indústria discreta, a indústria *batch* (bateladas) e a indústria de processos, podem se beneficiar com o

gerenciamento de processos de negócios BPM que relevam a colaboração entre sistemas MES e sistemas de manufatura digital do PLM para uso, como apoio de decisões e procedimentos, em sistemas ERP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERDEEN GROUP. PLM and MOM Interoperability. Boston, MA: 2010. Disponível em: < <http://www.aberdeen.com> >. Acesso em março de 2010.

AKE, K.; CLEMONS, J.; CUBINE, M.; LILLY, B. Information Technology for Manufacturing: Reducing Costs and Expanding Capabilities. Boca Raton, FL: St. Lucie Press, 2004.

AMARAL, D. C; ROZENFELD, H. Índices de Capabilidade do Processo (Cp, CpK). NUMA - Núcleo de Manufatura Avançada, EESC/USP, São Carlos, 1999. Disponível em <http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/capabilidadev4.html > . Acesso em fevereiro de 2010.

APRISO LITERATURE LIBRARY. Augmenting the Value of ERP with an Operations Execution System. Long Beach, CA: Paper Apriso Corporation, 2007.

ARC ADVISORY GROUP. Siemens PLM Software's Robotics Simulation: Validating & Commissioning the Virtual Work-cell. Dedham, MA: White-paper ARC Advisory Group, 2008.

ARC ADVISORY GROUP. Leading PLM Supplier Profiles. Disponível em: < <http://www.arcweb.com> >. Acesso em março de 2010.

CERVO, A. L., BERVIAN, P. A. Metodologia científica. São Paulo: Makron Books, 1984.

CHASE, R. B.; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J. Administração da Produção para a Vantagem Competitiva. 10ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CHECKLAND, P. B. Systems thinking, systems practice. Chichester: Wiley, 1981.

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

CIMDATA, INC. PLM - Automation Market Evolution - The PLM Footprint Steps onto the Factory Floor. Ann Arbor, MI: Paper CIMdata, 2007.

CIMDATA, INC. Dassault Systèmes' V6 Platform 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.

CORRÊA, H. L.; GIANESE, I. G. N. & CAON, M. Planejamento, Programação e Controle da Produção - MRPII/ERP. 4ª Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2001.

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.

DELMIA WORLD NEWS. The Dassault Systems Digital Manufacturing Magazine. Edições 10 a 16. Saint Cloud Cedex – France: Delmia Press, 2005 a 2008.

FREITAS FILHO, P.J. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas – Com Aplicações em Arena. Florianópolis, SC: Visual Books, 2008.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 1991.

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

GRIEVES, M. Multiplying Manufacturing Executions Systems (MES) Value with Product Lifecycle Management (PLM) Integration. Long Beach, CA: Paper Apriso Corporation, 2007.

GUERRINI, F.M.; ESCRIVÃO FILHO, E.; BELHOT, R.V. ABC do Texto Científico. São Carlos: SEP-EESC/USP, 2009.

HAMMER, M. Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate. Boston: Harvard Business Review, July-August, 1990.

HOLLENDER, M. Collaborative Process Automation Systems. Research Triangle Park, NC: ISA – International Society of Automation, 2009.

JAGDEV, H.S.; WORTMANN, J.C.; PELS, H.J. Collaborative Systems for Production Management. Norwell, MA: Klumer Academic Publishers Group, 2003.

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

KEENY, R.L. Decision Analysis: An Overview. San Francisco: Woodward-Cycle Consultants, 1982.

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.

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

LEE, C.; LEEM, C.S.; HWANG, I. PDM and ERP integration methodology using digital manufacturing to support global manufacturing. London, Springer Verlag London Ltd., 2010.

LISBOA, E.F.A. Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em < <http://www.ericolisboa.eng.br/cursos/apostilas/po/index.htm> >. Acesso março de 2010.

MAYER, P.; PLAPP, J. Extending PLM to the Shop Floor. Eagan, MN: White-paper Intercim, 2008. Disponível em: < <http://www.intercim.com> >. Acesso em junho de 2010.

MCLELLAN, M. Applying Manufacturing Execution Systems (Resource Management). Boca Raton, FL: St. Lucie Press, 1997.

MCLELLAN, M. Collaborative Manufacturing: Using Real-Time Information to Support the Supply Chain. Boca Raton, FL: St. Lucie Press, 2003.

MESA INTERNATIONAL – MANUFACTURING ENTERPRISE SOLUTIONS ASSOCIATION. Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook, 2008. Disponível em: < <https://services.mesa.org/ResourceLibrary> >. Acesso em março de 2010.

MEYER, H.; FUCHS, F.; THIEL, K. Manufacturing Execution Systems (MES): Optimal Design, Planning, and Deployment. New York: McGraw-Hill, 2009.

MODAK, Y. Maturity Assessment of Digital Manufacturing Initiative. Mumbai, India: White-paper Geometric, 2008. Disponível em: < <http://www.geometricglobal.com> >. Acesso em setembro de 2010.

PHAM, D.T. Intelligent Production Machines and Systems – First I*PROMS Virtual Conference. Oxford, UK: Elsevier, 2005.

PLAPP, J. Pertinence Suíte Powered by Velocity: Intercim’s MES Solution. Eagan, MN: White-paper Intercim, 2008. Disponível em: < <http://www.intercim.com> >. Acesso em junho de 2010.

POIRIER, C.C., REITER,S.E. Supply chain optimization. San Francisco: Berret-Koehler, 1996.

PORTO, A.J.V.; MOMORU, C.Y.; AMARAL, C.S T. Introdução à Simulação de Sistemas de Manufatura. 1ª.Edição. São Carlos: SEM-EESC/USP, 2006.

PORTO, A.J.V.; TIBERTI, A.J. Curso Básico de Simulação – Arena. 1ª. Edição/4ª. Revisão. São Carlos: SEM – EESC/USP, 2006.

REBSTOCK, M.; JANINA, F.; PAULHEIM, H.; NAUJOK, K.D. Ontologies-Based Business Integration. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 2010.

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

SCHOLTEN, B. MES Guide for Executives: Why and How to Select, Implement, and Maintain a Manufacturing Execution System. Research Triangle Park, NC: ISA – International Society of Automation, 2009.

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.

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.

SIPPER, D.; BULFIN JR, R. L. Production: Planning, Control and Integration. New York: McGraw-Hill, 1997.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. 2ª Edição. São Paulo: Atlas, 2002.

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.

THE INSTRUMENTATION, SYSTEMS, AND AUTOMATION SOCIETY. ANSI/ISA 88.01-1995 (R2006) Batch Control Part 1: Models and Terminology. Research Triangle Park, NC: ISA – International Society of Automation, 1995.

THE INSTRUMENTATION, SYSTEMS, AND AUTOMATION SOCIETY. ANSI/ISA 88.00.02-2001 - Batch Control Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages. Research Triangle Park, NC: ISA – International Society of Automation, 2001.

THE INSTRUMENTATION, SYSTEMS, AND AUTOMATION SOCIETY. ANSI/ISA 88.00.03-2003 - Batch Control Part 3: General and Site Recipe Models and Representation. Research Triangle Park, NC: ISA – International Society of Automation, 2003.

THE INSTRUMENTATION, SYSTEMS, AND AUTOMATION SOCIETY. ANSI/ISA 88.00.04-2006 - Batch Control Part 4: Batch Production Records. Research Triangle Park, NC: ISA – International Society of Automation, 2006.

WOLL, D.; CARO, D.; HILL, D. Collaborative Process Automation Systems of Future. Dedham, MA: ARC Advisory Group, 2002. Disponível em: < <http://www.arcweb.com> >. Acesso em fevereiro de 2010.

WANG, L.; NEE, A.Y.C. Collaborative Design and Planning for Digital Manufacturing. London: Springer Verlag London Ltd., 2009.

WOLL, D. Item 1.4 do Capítulo 1 da obra Collaborative Process Automation Systems. Research Triangle Park, NC: ISA – International Society of Automation, 2009.

YAN, X.T.; JIANG, C.; EYNARD, B. Advanced Design and Manufacture to Gain a Competitive Edge: New Manufacturing Techniques and their Role in Improving Enterprise Performance. London: Springer Verlag London Ltd., 2010.

ANEXO I

GLOSSÁRIO DE TERMOS ESTRANGEIROS

A single version of the truth - Uma versão única da verdade.

Accelerators - Aceleradores.

Adaptive manufacturing - Manufatura adaptativa.

Analyst - Analista.

Anywhere build anywhere - Executado de qualquer lugar para qualquer lugar.

As built - Como construído.

As-designed - Como projetado.

As-planned - Como planejado.

Assembly planning and validation - Planejamento e validação de montagem.

Automation and drives - Automação e mecanismos.

Backbone - Espinha dorsal, infraestrutura física central.

Back-end - Tarefas não controladas diretamente pelo usuário.

Batch production records - Registros de produção em lote.

Best-in-class - Empresa líder ou empresa campeã no ramo de atuação.

Best-of-breed - De alta qualidade.

Botton-up - De baixo para cima.

Box assembly - Montagem de peças.

Browser - Navegador (Internet).

Build to - Fabricar para.

Bus - Barramento.

Business processes - Processos de negócios.

Business/Commerce - Negócios/Comércio.

Business-to-Manufacturing (B2M) - Negócios para Manufatura.

Buyoffs - Irregularidades.

Capability - Capacidade.

Change-order - Modificação de uma ordem.

Changes - Mudanças.

Chief Executive Officer (CEO) - Diretor Executivo.

Client-server - Cliente-servidor.

Closed Loop - Ciclo fechado.

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

Collaborative Process Automation System (CPAS) - Sistema Colaborativo de Automação de Processos.

Commodity - Produto de consumo.

Common information infrastructure - Infraestrutura de informações públicas.

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

Connection - Sintonia, conexão.

Control board - Quadro/painel de controle.

Core - Centro de competência ou núcleo.

Core competences - Competência específica, competência empresarial.

Cross platform - Capacidade de multi-plataformas.

Dashboards - Painéis de controle.

Data sources - Fontes de dados.

Data structures and guidelines for languages - Estruturas de dados e linhas de procedimentos para linguagens de programação.

Debug - Erros.

Delivery - Entrega do produto.

Design - Projeto do produto.

Design for testability - Testes de engenharia, técnica de projeto que adiciona certas características de testabilidade ao projeto de produtos.

Design-to-build - Do projeto à produção.

Digital factory - Fábrica digital.

Digital manufacturing - Manufatura digital.

Digital manufacturing and production - Manufatura digital e produção.

Digital manufacturing foundations - Fundamentos/alicerce da manufatura digital.

Digital mockup - Protótipo virtual.

DotNet (.Net) - Iniciativa da Microsoft que visa uma plataforma única para desenvolvimento e execução de sistemas e aplicações.

Download - Transferência de dados de um computador remoto para um computador local.

Downstream - Refere-se ao fluxo de dados que vem do provedor de acesso à Internet rumo ao micro do usuário.

Downtime - Tempo de paradas, período em que um trabalhador ou uma máquina não está produzindo.

Drives – Acionadores, mecanismos.

E-business - Negócios através da Internet.

E-commerce - Comércio eletrônico via Internet.

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

Entry-level - Nível de entrada.

Event-driven - Focado em atividades.

Factory definition & simulation - Definição e simulação de fábrica.

Faster time to market - Rápida colocação de produtos no mercado.

Field - Campo.

Fieldbus - Sistema de rede de comunicação industrial para controle distribuído em tempo real.

Fit - Encaixar, ajustar, adaptar.

Fixtures - Instalações.

For management by exception - Gerenciamento por exceção ou gerenciamento do que está fora de regra.

Framework - Estrutura de desenvolvimento.

From Taylor-Made to Tailor-Made - De “Feito por Taylor” para “Feito sob medida”.

Front loading - Emprego de recursos e capital.

Gap - Lacuna.

General - Geral, universal.

General and site recipe models and representation - Representação e modelos de receita/fórmula local e geral.

Green design - Projeto verde.

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

Guideline – Guia, linha de procedimentos.

High-speed - Alta velocidade.

High-tech - Alta tecnologia.

Honeycomb - Favo de mel.

How to manufacture - Como fabricar.

Hub - Concentrador.

Incentive wages - Gratificações.

Incoming goods - Recebimento de mercadorias.

Incoming goods/outgoing goods control - Gerenciamento de materiais, controle de entrada e saída.

Intellectual Property (IP) - Propriedade Intelectual.

Internet Explorer - Nome dado ao navegador (browser) para a Internet da Microsoft.

Joint venture - Empreendimento conjunto.

Just-in-Sequence - É uma estratégia de inventário que corresponde ao *Just in Time*, que ajusta a seqüência 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-free - Livre de substâncias perigosas.

Lead-time - Tempo de execução.

Lean - Enxuto.

Lean Manufacturing - Produção Enxuta.

Libraries - Bibliotecas.

Life sciences - Ciências biomédicas.

Lifelike experience - Experiências realísticas.

Link - Elo ou conexão.

Loop - Ciclo.

Make-to-order – Produzir sob pedido.

Make-to-stock – Produzir para estoque.

Manufacturer/Producer - Fabricante.

Manufacturing execution for the electronic industry - Execução da manufatura para a indústria eletrônica.

Manufacturing Operations Management (MOM) - Gerenciamento de Operações de Manufatura.

Manufacturing planning - Planejamento da manufatura.

Manufacturing Process Management (MPM) - Gerenciamento de Processos de Manufatura.

Members – Membros, participantes.

Merging - Consolidar, unir.

Mid-market - Médias empresas.

Mix - Variedade.

Mobile - Móvel.

Models and terminology - Modelos e terminologia.

Moving ahead - Avançar.

Network - Malha, rede.

Non-mission-critical applications - Aplicações de missão não crítica.

Non-Profit/Educational - Sem fins lucrativos/Educacional.

Object management - Gerenciamento de objetos.

Object programming - Programação orientada a objetos.

Office applications - Aplicações de escritório.

Offline - Desconectado.

Off-the-shelf - Padronizada.

Oil & Gás - Óleo e Gás.

On-line - Conectado, em tempo real.

Operations advisor dashboard - Painel de operações.

Out-of-the-box - Pronto para uso.

Overall Equipment Effectiveness (OEE) - Indicador de desempenho que mede a eficácia da utilização de uma operação de manufatura.

Package - Em TI, é um mecanismo de propósito geral para a organização de elementos em grupos.

Paper - Artigo.

Paperless - Sem papel.

Part planning and validation - Planejamento e validação de peças.

Personnel - Mão-de-obra, corpo de funcionários.

Pertinence Suite Powered by Velocity - Nome da solução de MES da Intercim LCC.

Physical model - Modelo físico.

Plant and resources engineering - Engenharia de planta e recursos.

Plant design and optimization - Projeto e otimização de plantas.

Plant to Business (P2B) - Nome dado a um grupo de interoperabilidade, criado em 2004, composto por membros do ARC (Automation Research Corporation) Advisory Group, membros da SAP e fornecedores de soluções e usuários.

Players - Participantes.

PLM Online for All - PLM Online (conectado) para Todos.

Plugin play - Arquivo/software que fornece recursos/funcionalidades adicionais a um programa ou aplicativo.

Point & click modeling - Modelagem por pontos e cliques.

Procedural model - Modelo de procedimentos.

Process & resource plan definition - Definição de planejamento de processos e recursos.

Process control & monitoring - Controle de processos e supervisão.

Process data historians - Historiador de dados de processo.

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

Product innovation - Processos de inovação do produto.

Production execution - Execução da produção.

Production management - Gerenciamento da Produção.

Production output - Relação de tempo de produção.

Prog & control engineering - Engenharia de programação e controle.

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

Real-time - Tempo real.

Real-time data processing - Processamento de dados em tempo real.

Real-time Performance Management (RtPM) - Gerenciamento de Desempenho em Tempo Real.

Recalls - Recolha de produtos, solicitação de devolução de um lote ou de uma linha inteira de produtos feita pelo fabricante.

Record - Registro de dados.

Redundant - Duplicados.

Render - Projetar e visualizar produtos com realidade.

Roadmap - Mapa de fluxo.

Roll-out - Replicação.

Scalability - Escalabilidade.

Scheduling - Programação.

Setup - Configuração.

Shop - Área, piso da fábrica.

Short-term manpower planning - Planejamento de curto prazo da força de trabalho.

Site - Conjunto de páginas Web acessíveis geralmente pelo protocolo HTTP na Internet.

Soft - Maleável.

Solutions providers - Provedores de solução.

Spectrum - Abrangência.

Staff - Quadro de colaboradores.

Staff work time logging - Registro de tempo da equipe de trabalho.

Standalone - Independente.

Standard application - Aplicação padrão.

Status - Situação.

Stochastic - Estocástico.

Student – Estudante.

Styling - Modelagem e criação.

Supply chain - Cadeia de suprimentos.

Synchronous - Simultâneo.

Tags - Rótulos.

Templates - Gabaritos.

Thin client - Computador cliente.

Third-party reports and articles - Relatórios e artigos de terceiros.

Timers - Temporizadores.

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.

Time-to-volume - Período de tempo até atingir o volume de produção desejado.

Token-passing - Método de acesso em que um sinal chamado “token” passa entre dois pontos de transmissão para autorizar a comunicação.

Top-down - De cima para baixo.

Trade-off - Troca, alternativa.

Upgrade - Atualização.

Upstream - Refere-se ao fluxo de dados que vem do micro do usuário rumo ao provedor de acesso à Internet.

Utilities - Empresas de utilidade pública.

Virtual factory framework - Estrutura para uma fábrica virtual

Warehousing - Logística de materiais, armazem.

Web-based - Baseada na web.

Web-enabled - Disponíveis para Web.

Website - Site da Internet.

What to manufacture - O que fabricar.

What-if - O que acontece se.

When-where-how much to manufacture - Quando, onde e quanto fabricar.

White papers - Artigo em forma de documento.

Wireless - Sem fio.

Workflows - Fluxos de trabalho.

Work-force - Recursos humanos, mão de obra, funcionários.

World-class - Classe mundial.

Yields - Rentabilidade, rendimentos.