

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Bruno Rubega
Pimentel..... E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 19/07/11
..... ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

BRUNO RUBEGA PIMENTEL

**Estudo de ciclo de vida de uma planta de
motores – Discussão sobre a tomada de
decisão de um projeto de uma nova linha de
manufatura**

Campinas, 2011

BRUNO RUBEGA PIMENTEL

**Estudo de ciclo de vida de uma planta de
motores – Discussão sobre a tomada de
decisão de um projeto de uma nova linha de
manufatura**

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado da Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Estadual de
Campinas, como requisito para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Automobilística.

Área de concentração: Manufatura

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza

Campinas
2011

P649e Pimentel, Bruno Rubega
Estudo de ciclo de vida de uma planta de motores –
discussão sobre a tomada de decisão de um projeto de
uma nova linha de manufatura / Bruno Rubega Pimentel.
--Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Gilberto Francisco Martha de Souza.
Dissertação de Mestrado (Profissional) -
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
Engenharia Mecânica.

1. Manufatura. 2. Projeto. 3. Engenharia de
manufatura. 4. Motor diesel. 5. Gerenciamento do ciclo
de vida do produto. I. Souza, Gilberto Francisco Martha
de. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade
de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Engine plant lifecycle study - discussions about decision
making of a new manufacturing line design

Palavras-chave em Inglês: Manufacturing, Design, Manufacturing
engineering, Diesel engine, Managing the lifecycle
of the product

Área de concentração: Manufatura

Titulação: Mestre em Engenharia Automobilística

Banca examinadora: Antonio Batocchio, Rodrigo Lima Stoeterau

Data da defesa: 19-07-2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

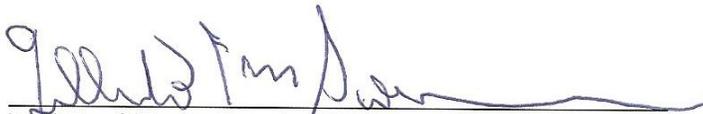
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL

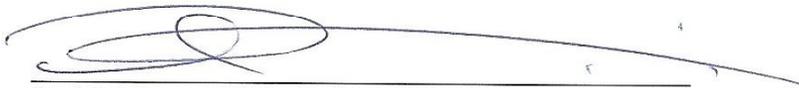
**Estudo de ciclo de vida de uma planta de motores –
Discussão sobre a tomada de decisão de um projeto de
uma nova linha de manufatura**

Autor: Bruno Rubega Pimentel
Orientador: Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza

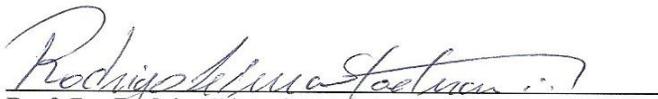
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza
Universidade de São Paulo - Escola Politécnica



Prof. Dr. Antonio Batocchio
Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Mecânica



Prof. Dr. Rodrigo Lima Stoeterau
Universidade de São Paulo - Escola Politécnica

Campinas, 19 de Julho de 2011.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família: minha esposa Camila, meu pai Luiz, minha mãe Carol e a minha irmã Carina, principais incentivadores do meu crescimento profissional e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho, dentre as quais não poderia deixar de citar:

À minha esposa Camila, pela compreensão e apoio incondicional a todos os momentos os quais estive estudando;

À minha família, Luiz, Carol e Carina, os quais me incentivaram nos momentos mais difíceis;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza, por ter me orientado e me mostrado os caminhos a seguir no desenvolvimento desta dissertação;

À MWM International Motores, pela oportunidade de cursar o Mestrado Profissional e pelo suporte na difícil conciliação entre as atividades profissionais e acadêmicas;

E a todos os colegas de empresa e de classe de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho, em especial a Luis Braggio, José Salis, Clodoaldo Aguado, Marco Daló, Marcelo Rabelo e Marcos Hengler.

"Não tentes ser bem sucedido, tenta antes ser um homem
de valor"
(Albert Einstein)

RESUMO

Diante da crescente competitividade do mercado automotivo nos dias de hoje e da revisão das normas de emissões de poluentes pelos órgãos responsáveis, o cenário de desenvolvimento de produtos para indústria automotiva e planejamento das operações industriais das grandes corporações, tem sendo revisto ao longo do tempo e com isso, todos os membros da cadeia de suprimentos deste mercado têm sido afetados de alguma forma.

Nesta dissertação foi feito a análise das fases de desenvolvimento de produto em um fabricante de motores diesel e o processo de desenvolvimento de uma nova linha usinagem em um site existente. Como parte desta abordagem, foram propostas ferramentas para otimizar tempo e custo a partir de uma metodologia utilizando métodos de engenharia avançada, estudo de ciclo de vida e métodos de tomadas de decisão. A partir da utilização destes métodos, foi possível concluir que a utilização de algumas das técnicas ou o conjunto delas trazem benefícios de redução de tempo de projeto, no planejamento do conjunto das operações industriais de uma planta utilizando de sinergia de operações e principalmente na obtenção de ganhos financeiros com a tomada de decisão com o maior subsidio de dados.

A metodologia proposta limitou-se a mostrar uma solução, a qual durante o desenvolvimento de um projeto de manufatura utilizando ferramentas de tomada de decisão providas por um modelo teórico de gestão integrada dos processos de negócio faz com que o time responsável pela estratégia de manufatura de uma empresa, tenha subsidio suficiente para planejamento da longevidade das operações industriais.

Palavra-chave: Manufatura, Engenharia de Manufatura, Motores Diesel, Emissão poluentes, Tomada de decisão, Sistemas PLM.

ABSTRACT

Due to current competitiveness growing of the automotive market and the revision of pollutant emission standards by regulatory authorities, the product development scenario for automotive industry and industrial operations planning at large scale companies have undergone numerous revisions subsequently affecting one way or another every link in the supply chain.

Present work includes analysis of the different stages in product development at a diesel engine manufacturer, as well as development process of a new machining line in an existing facility. As part of this approach, proposed methodology includes tools to optimize time and costs, based on advanced engineering methods, life cycle studies and decision-making processes. By applying these methods, it was likely to conclude that the use of some or all of these techniques bring benefits concerning design time reduction, improved planning of all operations of an industrial plant through the use of operations synergy and mostly in obtaining financial gains from decision making with highest data subsidy.

The proposed methodology is limited to show a solution, which, applied in developing a manufacturing project and using decision-making tools based on a theoretical integrated management model of business processes, contributes to provide for a long-term industrial operation planning to the team in charge of manufacturing strategy.

Keywords: Manufacturing, Manufacturing Engineering, Diesel Engines, Emission Pollutants, decision making, PLM Systems.

Lista de Tabelas

Tabela 1: Comparativo entre as normas de emissão de poluentes européias para veículos comerciais leves (DIESELNET, 2011).....	16
Tabela 2: Comparativo entre as normas de emissão de poluentes européias para veículos comerciais pesados (DIESELNET, 2011).....	17
Tabela 3: Evolução das normas brasileira de emissões de poluentes. Adaptado de (CONAMA, 2011)	18
Tabela 4: Fatores de competitividade ao longo das décadas (AGOSTINHO, 1995).....	20
Tabela 5: Comparativo do número de entregáveis por área funcional	52
Tabela 6: Planilha de cálculo de tempo de usinagem para validação de propostas.....	74
Tabela 7: Resumo das operações planejadas para validação das propostas dos fornecedores	75
Tabela 8: Tabela com os valores de dimensionamento de mão obra baseado na fase 3 do projeto com cadência de 9,14 min.	90
Tabela 9: Matriz de decisão comparando as soluções técnicas com base nos requisitos de projeto – Adaptado de (CLEMEN, 1996).....	97

Lista de Figuras

Figura 1: Fluxo do trabalho e estratégia de pesquisa.....	5
Figura 2: Idade e número de modelos no mercado Europeu (MENNE e RECHS, 2002).....	8
Figura 3: Evolução da venda de veículos no mercado brasileiro (ANFAVEA, 2010).....	9
Figura 4: Níveis de planejamento estratégico (ROZENFELD, et al., 2006).	11
Figura 5: Tendências de evolução na indústria e impactos nas empresas (ZANCUL, 2009)..	12
Figura 6: Cenário evolutivo dos Standards de poluentes (DIESELNET).....	15
Figura 7: Exemplo esquemático do modelo de referência (ZANCUL, 2009)	25
Figura 8: Práticas de gestão do ciclo de vida de produtos (ZANCUL, 2009).....	26
Figura 9: Exemplo de linha transfer – Ingersoll Production Systems.....	31
Figura 10: Exemplo de linha flexível com centros de usinagem – B. GROB GmbH.....	31
Figura 11: Cálculo do índice de OEE – adaptado de (INSTITUTE, 1999)	32
Figura 12: Crescimento e projeção de crescimento da indústria brasileira de veículos comerciais (ANFAVEA, 2010)	43
Figura 13: Modelo esquemático do QVP utilizado na empresa em questão.....	46
Figura 14: Documento utilização na formalização da aprovação do Gate.....	55
Figura 15: Estrutura organizacional da empresa em questão	56
Figura 16: Participação por área durante o desenvolvimento do projeto na empresa em questão.....	58
Figura 17: Estrutura organizacional da engenharia de produto.....	60
Figura 18: Estrutura organizacional da manufatura.....	62
Figura 19: Proposta de estrutura organizacional da engenharia de manufatura.....	66
Figura 20: Proposta de estrutura organizacional da engenharia de manufatura.....	67
Figura 21: Dados de entrada para projeto da linha de usinagem de blocos de motores	69
Figura 22: Ilustração do bloco de motor a ser manufaturado.....	70

Figura 23: Layout proposto para a solução flexível para o processo de usinagem – Adaptado do projeto original.....	78
Figura 24: Cronograma de execução do projeto – Adaptado do projeto original	79
Figura 25: Detalhe das furações de fixação do cabeçote / mancais e cilindro – Adaptado do projeto original da linha de usinagem.....	84
Figura 26: Ilustração preparada pelo planejamento de manutenção durante desenvolvimento do para projeto da nova linha de usinagem	85
Figura 27: Layout de uma linha de usinagem do fabricante em questão com tempo de utilização dos equipamentos alocados – Adaptado de dados do fabricante.....	87
Figura 28: Indicador das divisões de custo de manufatura do bloco do motor em questão – Adaptado dos dados do fabricante.....	88
Figura 29: Layout proposto com a separação por “linhas” para dimensionamento de Mão de Obra.....	90
Figura 30: Estudo de caso da usinagem de bloco de motor realizada pelo CCM – ITA (GOMES, 2009).....	92
Figura 31: Os “4Ps” do sistema Toyota de produção (LIKER, 2004).....	93

Lista de abreviações

BLACK BOX	Componente ou processo o qual não temos informações sobre funcionamento e ou processo
BOM	Lista de material (Bill of Material)
CAD	Desenho Assistido por Computador (Computer Aided Design)
CAE	Engenharia Assistida por Computador (Computer Aided Engineering)
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CMM	Maquina de Medição de Coordenadas (Coordinate Measure Machine)
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Capabilidade de Processo
CPk	Capabilidade de Processo para processo estável
DFA	Projeto para Montagem (Design for Assembly)
DFM	Projeto para Manufatura (Design for Manufacturing)
EPA	Agência de Proteção Ambiental (Environment Protection Agency)
ERP	Sistema Integrado de Gestão Empresarial (Enterprise Resource Planning)
EURO	Denominação Européia para Legislação de emissões de poluentes
FMS	Sistema de Máquinas Flexíveis (Flexible Machine System)
OEM	Original Equipment Manufacturer
PLM	Gerenciamento de ciclo de vida de produto (Product Lifecycle Management)
PP	Performance de Processo
PPk	Performance de Processo para processo estável
PROCONVE	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores

Sumário

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Figuras	x
Lista de abreviações	xii
1. Introdução	1
1.1. Considerações Iniciais	1
1.2. Estrutura geral do trabalho	4
1.3. Objetivos do trabalho	6
1.4. Relevância do trabalho para a indústria automotiva	8
2. Revisão bibliográfica	10
2.1. Importância da gestão de ciclo de vida de produtos dentro das empresas do setor automotivo	10
2.1.1. Motivo de estudo do ciclo de vida nos produtos em produção e de novos desenvolvimentos	13
2.1.1.1. Evolução dos <i>Standards</i> de emissão de poluentes	13
2.1.1.2. Demanda pelo aumento de desempenho motores de combustão	18
2.1.1.3. Redução de custo do produto	19
2.1.1.4. Competitividade	20
2.2. Exemplos de empresas que introduziram sistemas PLM	23
2.3. PLM Engineering	24
2.3.1. Utilização de sistemas flexíveis na Manufatura	29
2.4. Controle da eficiência de performance de produção na manufatura	31
2.5. Utilização da simulação na Manufatura	36
2.5.1. Simulação	37
2.5.2. Emulação	38
2.5.3. Análise da aplicabilidade da simulação	40
2.5.4. Manufatura digital aplicada na indústria	41
2.6. Estudo de tomada de decisão	43
3. Análise do desenvolvimento de novos produtos no fabricante de motores diesel	45
3.1. Processo de desenvolvimento de produtos	45
3.1.1. Fases do Processo atual	47
3.1.2. Análise do QVP	51
3.2. Estrutura Organizacional	56
3.2.1. Estrutura Organizacional da Engenharia de Produto	60
3.2.2. Estrutura Organizacional da Manufatura	62
3.2.3. Problemas detectados no desenvolvimento de projetos na Manufatura	64
4. Estudo de caso – Projeto de uma linha de usinagem de bloco de motor	68
4.1. Premissas de projeto de uma linha de usinagem de blocos de motores de Ferro Fundido Vermicular	68
4.2. Projetos desenvolvidos para a usinagem do bloco	71
4.3. Análise e tomada de decisão	79
4.3.1. Cenário de tomada de decisão	81

4.3.1.1.	Investimento total no projeto	81
4.3.1.2.	Fluxo de caixa	82
4.3.1.3.	Custos operacionais	83
4.3.1.4.	Mantenabilidade	84
4.3.1.5.	Longevidade de linha projetada	86
4.3.1.6.	Maior rentabilidade no preço de venda	87
4.3.1.7.	Menor número de Mão de obra direta	89
4.3.1.8.	Redução máxima no consumo de ferramentas	91
4.3.1.9.	Áreas de apoio com contingente reduzido	92
4.3.1.10.	Redução do inventário em produção	93
4.3.1.11.	Menor tempo parado entre SOP e início das próximas fases	94
4.3.1.12.	Índices de qualidade	94
4.3.2.	Mariz de decisão	95
5.	Conclusões	98
5.1.	Considerações finais	98
5.2.	Recomendações para trabalhos futuros	99
6.	Referências bibliográficas	100

1. Introdução

1.1. Considerações Iniciais

Nos últimos anos, o mundo vem passando por grandes mudanças nas indústrias, principalmente no setor automobilístico. Neste as pressões ambientais, econômicas e mercadológicas têm feito com que o planejamento estratégico dos principais concorrentes do mercado sofram revisões periódicas, e como consequência, tem-se cada vez mais a necessidade de produzir-se automóveis mais leves, econômicos, seguros e menos poluentes (GRITTI, CANGUE, & GODEFROID, 2002). A partir deste cenário, nasceu a demanda por um material que apresente altíssimo desempenho, e, único capaz de atender a todos estes requisitos, porém a solução técnica para desenvolvimento desse material ainda não tem solução conhecida.

O que acontece é um cenário de competição entre os materiais existentes, um cenário de desenvolvimento contínuo dos materiais clássicos ou, ainda, um cenário de mudanças abruptas com a utilização de novos materiais (CREDIE, 1995). A indústria automobilística é um dos setores da economia no qual a competição é mais acirrada e as mudanças na estrutura das empresas ocorrem com maior frequência. Os fornecedores da indústria automotiva são assim continuamente desafiados a suprir a demanda por melhor qualidade, menor custo e maior eficiência para as linhas de montagem automotivas (GRITTI, CANGUE, & GODEFROID, 2002). A indústria siderúrgica vem sendo pressionada, pois o desenvolvimento de materiais alternativos, tais como de alumínio, plásticos e polímeros compostos (materiais poliméricos representam entre 10 e 15% do peso do veículo), ligas de magnésio e ligas de titânio

vem aumentando significativamente nos últimos 20 anos com incentivo da indústria automobilística.

Atualmente, um dos pontos cruciais do mercado automobilístico é a produção do carro mundial, que exige que os carros produzidos em diferentes países tenham seus componentes com o mesmo projeto tecnológico, independentemente de o fornecedor ser ou não o mesmo. O principal conceito do novo modelo adotado pelas montadoras é a redistribuição de funções dentro da cadeia produtiva. A situação extrema ocorre quando a montadora só executa as tarefas de pesquisa e desenvolvimento, marketing e testes, e em alguns casos, fábrica algum componente estratégico, como motores de automóveis. Por isso as montadoras estão sendo consideradas laboratórios de quarteirização, ou seja, os carros são montados a partir de grandes módulos (conjunto de peças já montados) que chegam prontos à linha de montagem final do veículo. A estratégia de produzir um carro mundial abre espaço para os principais fornecedores de sistemas. Esta participação pode se dar através de compra de empresas, joint ventures e licenciamento de tecnologia (SANTIAGO, 1999).

Os setores que se ocupam dos projetos e da fabricação de veículos vivem num ambiente caracterizado pela “ebulição”: são idéias novas em relação a materiais, processos, engenharia e, principalmente, a automóveis diferenciados. Todos se preocupam com o carro do futuro. Não é possível dar uma resposta única. Tudo depende do uso que se pretende fazer do veículo, dos materiais disponíveis, do custo, dos impactos ambientais, etc. Paralelamente, questões ambientais continuam desempenhando um papel cada vez mais importante nas especificações dos carros. Os veículos deverão ser menos poluentes e mais recicláveis. O uso de material leve é a tendência natural para se atingirem os objetivos acima citados, dada a necessidade de

se introduzirem novos sistemas para que produzam carros cada vez mais confortáveis e seguros, sem que lhes aumente o peso e, ao final da vida, tenha-se a máxima reciclabilidade (RIZZO & FERNANDES, 1999). Segundo Barbosa (1985), a otimização das peças automobilísticas quanto a desempenho e custo, fundamental para a ampliação e mesmo para a manutenção do uso relativo do aço especial no automóvel, exige da siderurgia de aços finos, o contínuo esforço de pesquisa e desenvolvimento orientado basicamente para:

- Composições químicas mais simples (com um menor número possível de compósitos), compatíveis com as propriedades requeridas;
- Resposta precisa aos tratamentos térmicos;
- Usinabilidade melhorada;
- Aptidão ao forjamento a quente e a frio;
- Controle das inclusões não-metálicas;
- Reprodutibilidade das características durante o processamento.

O automóvel, em virtude dos grandes volumes comercializados, tem liderado o desenvolvimento do aço para construção mecânica. Os avanços aí obtidos irradiam-se para todos os demais usos, passando inicialmente pelos caminhões e tratores, normalmente produzidos pelos mesmos grupos produtores de automóveis e atingindo rapidamente o setor de máquinas e equipamentos, o segundo grande usuário de aços especiais (BARBOSA, 1985). Com isso, pode-se afirmar que melhorias generalizadas de qualidade e incorporações tecnológicas em produtos, meios de produção e gestão são tendências registradas para os próximos anos. No que se refere à economia do combustível, sabe-se que a redução do peso dos veículos oferece a vantagem de economia de combustível de 3 a 7% para cada 10% de redução de peso e conseqüentemente a redução da emissão de poluentes.

Diante do cenário evolutivo na indústria automotiva e da competitividade cada vez mais acirrada entre as indústrias fabricante de automóveis, deu-se início ao desenvolvimento de diversas tecnologias inovadoras empregadas na manufatura do produto. A evolução da manufatura nas grandes indústrias, tão quanto o período de transição dos produtos empregados na produção de veículos, o gerenciamento do ciclo de vida destes produtos (PLM) e as mudanças no desenvolvimento dos processos de fabricação por esta evolução gerada, serão discutidos no desenvolvimento desta dissertação.

1.2. Estrutura geral do trabalho

O trabalho será dividido conforme a Figura 1. No fluxo é possível analisar na Introdução, onde surge a demanda para o estudo em questão, tão quanto a situação atual do mercado. Na Revisão Bibliográfica, foram estudados os modelos de gestão de ciclo de vida PLM juntamente com técnicas de manufatura avançada viabilizadas pelas ferramentas PLM disponíveis no mercado.

Como resultado desta pesquisa, atrelado a técnicas de Gerenciamento de Projetos (PMI, 2004), será proposta uma metodologia de tomada de decisão com muitos mais subsídios para os responsáveis pelo projeto, além de assegurar que os investimentos que estão sendo feitos corretamente, com base na fotografia do momento e com os dados disponíveis naquele determinado instante.

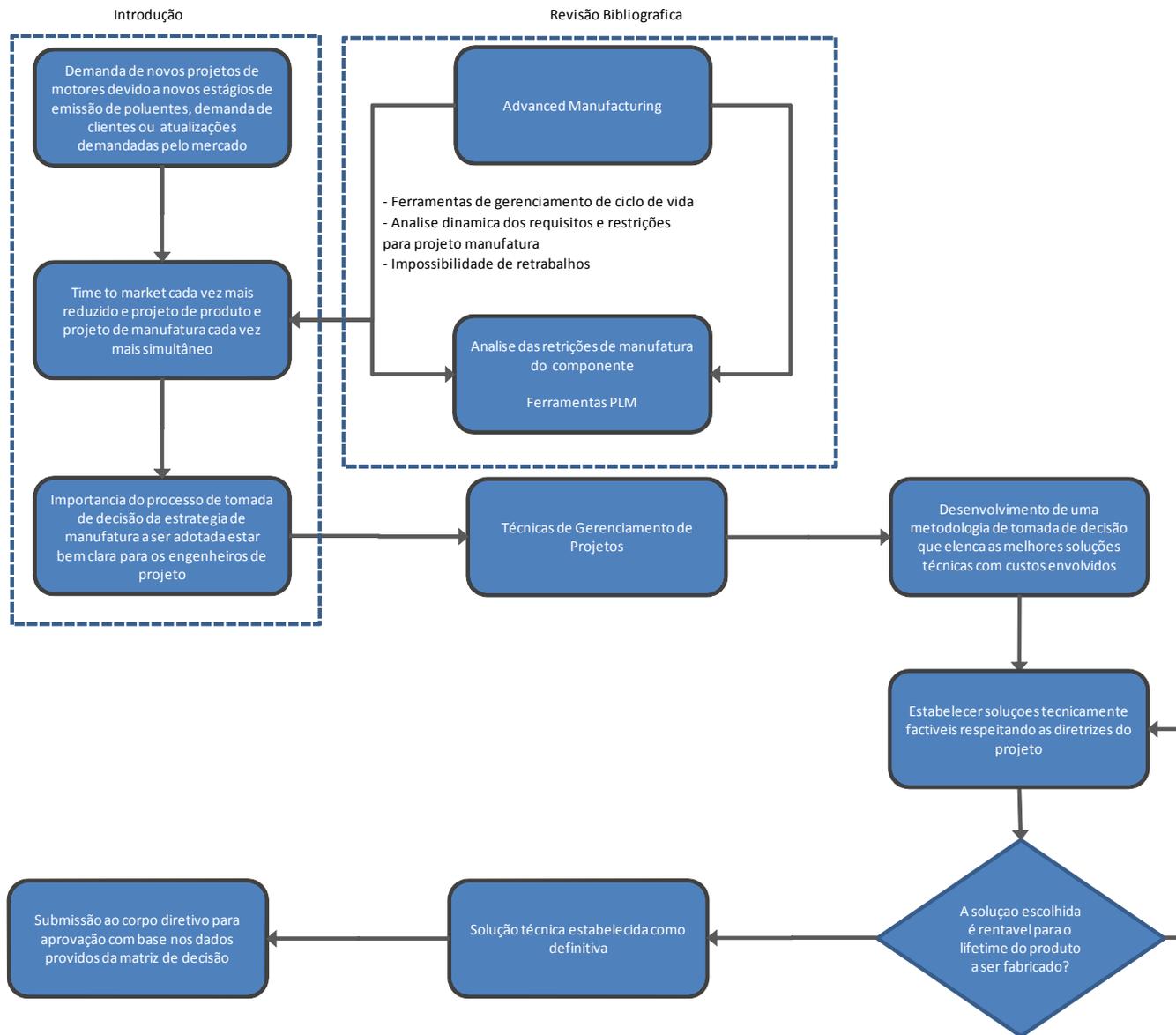


Figura 1: Fluxo do trabalho e estratégia de pesquisa

1.3. Objetivos do trabalho

Este trabalho tem como objetivos gerais estudar o modelo de gestão de ciclo de vida de produto e as diretrizes por ele gerado, no processo de desenvolvimento de processos de manufatura de motores de combustão interna, para a indústria automotiva.

O estudo se concentrará em coletar dados aplicados no desenvolvimento de um projeto de manufatura na indústria fabricante de motores e compará-lo com uma proposta baseada em informações do mercado, pesquisas bibliográficas e *benchmark* de práticas utilizadas mundialmente.

Os objetivos gerais são divididos nos seguintes objetivos específicos:

- Fazer diagnóstico do cenário atual do processo de gestão de ciclo de vida de produtos e do processo de desenvolvimento de projetos de manufatura no fabricante de motores diesel em questão;
- Buscar fontes e exemplos de melhores práticas utilizadas mundialmente, por meio da ferramenta de *benchmarking*, e, estudar comparativamente propostas para melhoria do processo de gestão planejamento de produto e de processos de manufatura;
- Estudar e propor mudanças na estrutura organizacional do fabricante de motores diesel, com objetivo de melhorar o processo de desenvolvimento de projetos na manufatura e gerenciamento do portfólio de projetos na manufatura;
- Propor um método de tomada de decisão para definição de estratégias de manufatura, baseada no portfólio de produtos e projetos de manufatura.

Ao final deste trabalho os seguintes questionamentos serão respondidos:

- Quais os benefícios em se estudar o ciclo de vida do produto antes do início do desenvolvimento de uma nova fábrica em um *site* pré existente?
- Quais são os métodos e critérios considerados na decisão de se construir uma nova linha de manufatura e / ou alterar as atuais existentes?
- Quais os critérios de decisão utilizados em um projeto de uma fábrica flexível ou dedicada para determinado produto?
- Qual o modelo de gestão de produtos utilizados pela empresa em questão?
- Quais as melhorias que poderiam ser propostas no gerenciamento de projetos de manufatura que trariam resultados técnicos e financeiros ao fabricante de motores em questão?
- Quais seriam os benefícios no sistema de gestão integrado na manufatura a partir da alteração organizacional proposta no modelo hoje utilizado?

A proposta principal do trabalho fica concentrada em prover subsídios decisórios e ferramentas de análise ao futuro das operações fabris das grandes corporações automotivas, especificamente os fabricantes de motores. Especificamente, a metodologia proposta fica sob responsabilidade da área de engenharia & estratégia de manufatura das empresas.

1.4. Relevância do trabalho para a indústria automotiva

O crescimento vertiginoso da diversidade de modelos na indústria automotiva lançados no mercado e conseqüentemente o aumento do portfólio de produtos, tem obrigado as grandes empresas a adotar modelos de gestão de projetos e gestão de ciclo de vida de produtos com o intuito de maximizar o número de produtos em desenvolvimento, com um menor tempo de lançamento, o qual tem sido alcançado no mercado com a utilização de ferramentas PLM – Project Lifecycle Management e projetos de linhas de manufatura cada vez mais flexíveis e capazes de absorver mudanças no projeto dos projetos. Conforme podemos verificar na Figura 2, o número de modelos de veículos tem crescido quase na mesma velocidade que a idade de modelos tem sido descontinuada no mercado europeu. O Brasil segue a mesma tendência europeia impulsionado por uma grande alta do mercado nacional na última década, como pode ser analisado no gráfico da figura 3 (ANFAVEA, 2010).

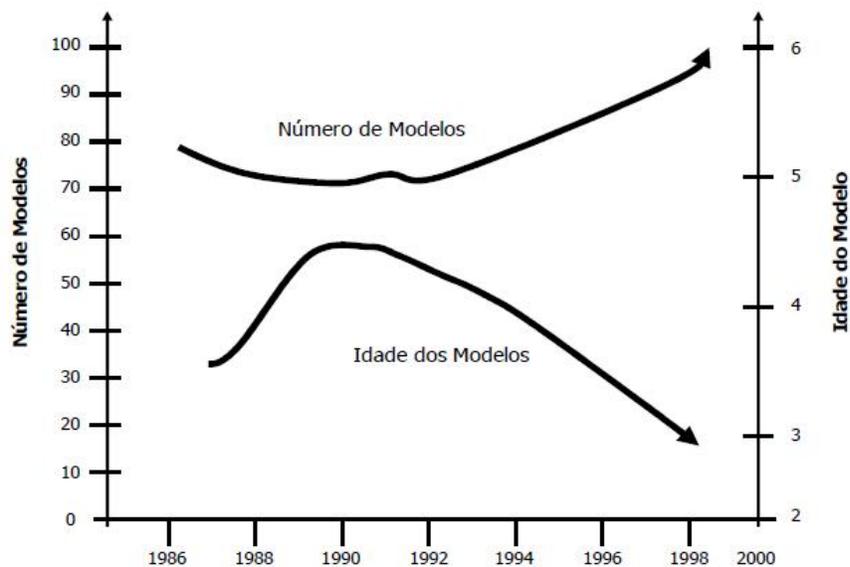


Figura 2: Idade e número de modelos no mercado Europeu (MENNE e RECHS, 2002)

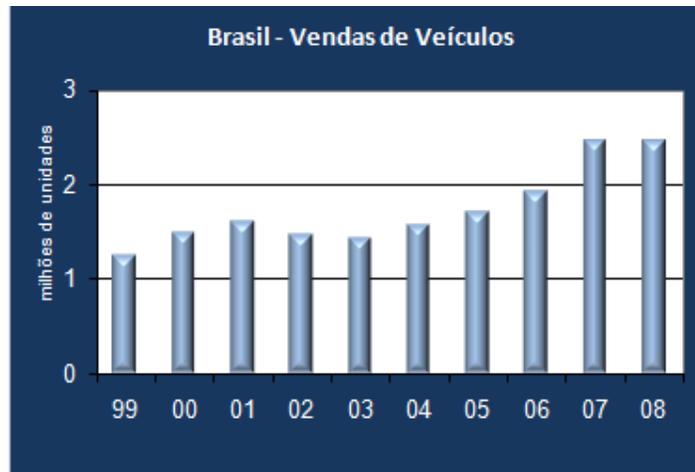


Figura 3: Evolução da venda de veículos no mercado brasileiro (ANFAVEA, 2010)

Os aspectos do modelo de gestão utilizado e da estrutura organizacional proposta são destacados por vários autores como fatores importantes para o sucesso dos projetos. O PMBOK® (PMI, 2004) cita as influências organizacionais, entre elas a estrutura organizacional e o ciclo de vida dos projetos, ou seja, sua divisão em fases e a relação entre elas, como importantes aspectos no contexto do gerenciamento de projetos. A pesquisa bibliográfica inicial indica publicações (FAVARIN & PIRES, 2004) (RAYMOND & CROTEAU, 2009) que apontam a importância do processo de desenvolvimento de novos produtos no ambiente competitivo da indústria automotiva.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Importância da gestão de ciclo de vida de produtos dentro das empresas do setor automotivo

A gestão do ciclo de vida dos produtos é uma parcela do processo de planejamento estratégico da grande maioria das indústrias automotivas. Trata-se de um processo gerencial, isto é, seus resultados não agregam resultado algum ao cliente externo, apenas à empresa que aplica este tipo de técnica.

De modo geral, os modelos do ciclo de vida fornecem uma descrição gráfica da história do produto, descrevendo os estágios pelos quais o produto passa desde os primeiros esforços para realizar o produto, até o final do suporte pós-vendas, ou seja, quando é finalizada qualquer forma de compromisso da empresa com o suporte do produto. Existem vários modelos propostos (ROZENFELD, et al., 2006), com o número diferente de estágios e caracterizam-se por serem sequenciais e hierárquicos. Segundo (ROZENFELD, et al., 2006) o modelo ideal representado na Figura 4 é uma representação esquemática de como o modelo de negócio deve estar estruturado, no que tange o planejamento estratégico de uma empresa.

No modelo proposto (ROZENFELD, et al., 2006) a estratégia de uma empresa é representada na forma de uma pirâmide, tendo como sua base fundamental o seu portfólio dos produtos da empresa e a expectativa de ciclo de vida destes produtos no mercado em que a empresa está engajada. Em uma visão superior, concentra-se a visão de negócios destes produtos vs. os mercados em que a empresa atua e os futuros mercados que a empresa pretende entrar. Nenhum dos aspectos acima mencionados será responsável pelo sucesso de uma empresa, sem que uma estratégia corporativa

seja estabelecida com objetivos, meios e metas bem definido pela alta direção da empresa (ROZENFELD, et al., 2006).

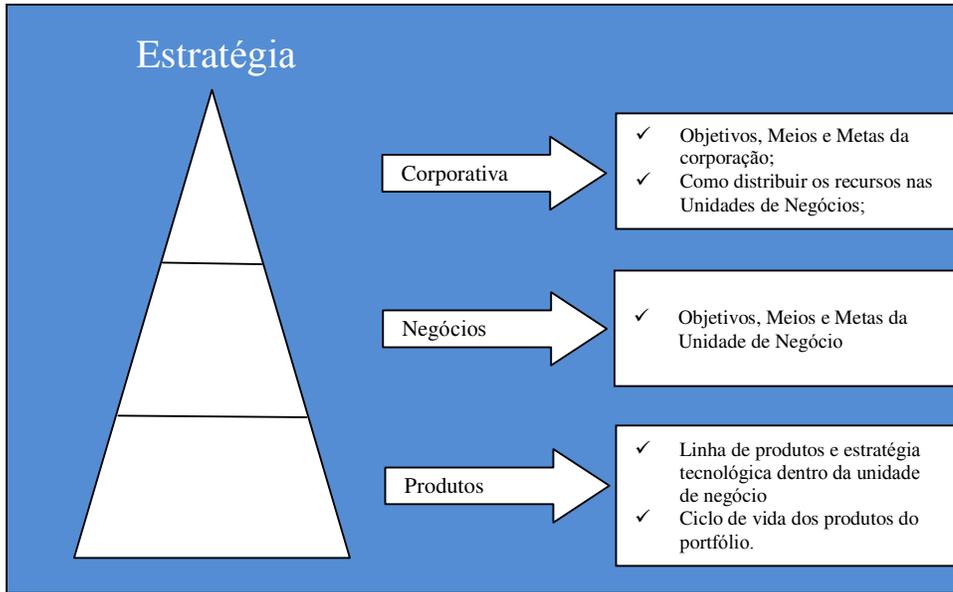


Figura 4: Níveis de planejamento estratégico (ROZENFELD, et al., 2006).

O estudo do ciclo de vida do produto define as fases que conectam o início de um projeto ao seu final. Por exemplo, quando uma organização identifica uma oportunidade que deseja aproveitar, em geral irá autorizar um estudo de viabilidade para decidir se deve realizar o projeto (PMI, 2004). Nos dias atuais, as empresas têm sido desafiadas a fornecer aos seus clientes uma gama cada vez maior de produtos, fazendo com que seus produtos atendam as expectativas do cliente e fazendo com que o portfólio destas empresas cresça. Isso tem cada vez mais aumentando a competitividade das empresas de mesmo seguimento, e forçando a redução do tempo de desenvolvimento e com investimento cada vez menor.

A partir desta realidade, pode-se definir no *framework* da figura 5 o modelo de referência das iniciativas de utilização de modelos de gestão de ciclo de vida de

produto e conseqüentemente do parque industrial atrelado a estes produtos (ZANCUL, 2009). No *framework* proposto (ZANCUL, 2009), identifica-se graficamente a origem dos requisitos de determinado produto, os quais provêm basicamente do mercado e do modelo de gestão de manufatura.

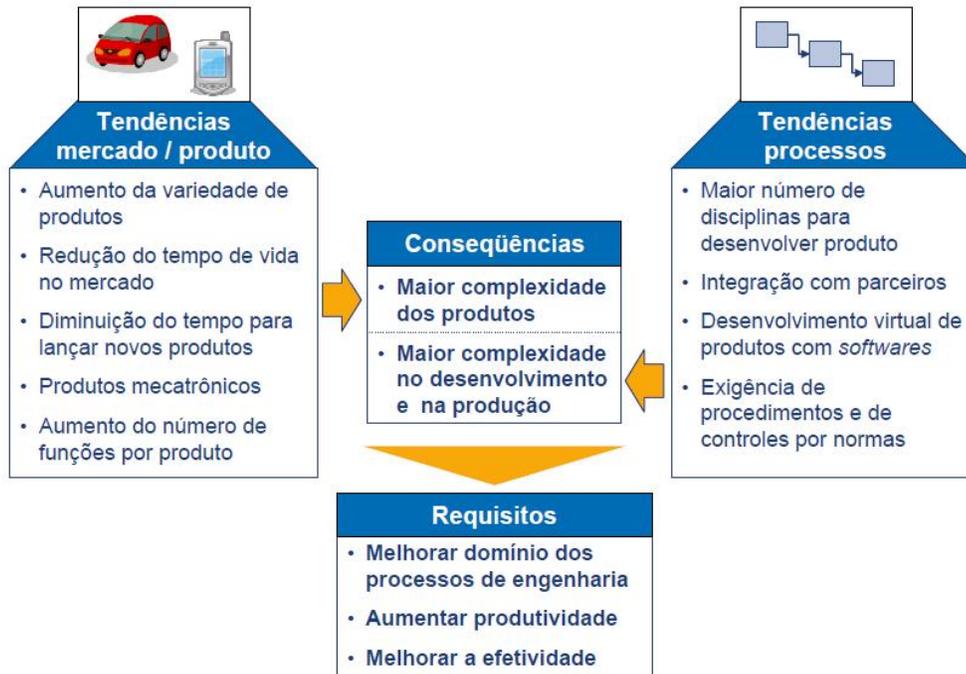


Figura 5: Tendências de evolução na indústria e impactos nas empresas (ZANCUL, 2009)

O aumento da complexibilidade dificulta a gestão dos processos de desenvolvimento de um novo produto, devido ao aumento do número de atividades e de interações entre elas, além do fato que as atividades em si, na fase de projeto, tornam-se mais complexas (ZANCUL, 2009). A partir desta demanda, as empresas necessitam de mecanismos os quais façam com que o domínio sobre os processos de engenharia sejam cada vez maiores.

Além do fato de existir uma demanda por processos de complexibilidade maior, os quais demandam uma capacidade maior de interação, tem-se o fato da manufatura dos componentes exigirem um processo cada vez mais robusto e ao

mesmo tempo flexível, pois as opções disponíveis no mercado são muitas e fatalmente sua fatia do mercado pode ser absorvida por um concorrente nacional ou muitas vezes asiático.

2.1.1. Motivo de estudo do ciclo de vida nos produtos em produção e de novos desenvolvimentos

Especificamente no mercado automobilístico, as novas demandas de novos projetos vêm sendo guiada pelos parâmetros descritos na sequência deste texto.

2.1.1.1. Evolução dos *Standards* de emissão de poluentes

Em todo o mundo, as normas de emissão de poluentes por parte dos veículos automotores têm sido restringidas cada vez mais com o passar do tempo, devido principalmente ao crescente aumento de veículos em circulação e pela própria pressão mundial relacionada à poluição proveniente de veículos automotores.

O órgão responsável pela homologação de veículos em todo território brasileiro, tendo também a responsabilidade pela implantação e operacionalização do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE é a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, a qual é um órgão técnico conveniado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

O PROCONVE foi instituído em 1986 através da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA 18/86 e pela Lei 8723 (CONAMA, 2011). Este programa foi desenvolvido pela CETESB, com a adoção de procedimentos utilizados internacionalmente para ensaio de veículos, motores e medição de poluentes, com o objetivo de estabelecer um padrão normativo no Brasil.

Para os veículos leves (aqueles com massa total máxima autorizada até 3856 kg e massa em ordem de marcha para realização do ensaio até 2720 kg), foram adotados os procedimentos norte-americanos de ensaio do veículo para medição dos gases de escapamento e evaporação de combustível. Para os veículos pesados (aqueles com massa total máxima autorizada superior a 3856 kg e massa em ordem de marcha para realização do ensaio superior a 2720 kg), tendo em vista a tradição européia no desenvolvimento de motores a diesel e uma vez que os veículos pesados são em sua grande maioria equipados por estes motores no Brasil, foram adotados os procedimentos europeus para ensaio do motor e medição da emissão dos gases de escapamento. Outro motivo da adoção destes procedimentos está no fato de que estes ensaios demandarem o uso de bancos dinamométricos mais simples, já presentes na maioria dos fabricantes instalados no País (CONAMA, 2011).

As legislações de emissões de poluentes (EURO e EPA), tem mundialmente feito que os fabricantes de motores busquem soluções ligadas à redução de gases emitidos, principalmente agregando sistemas de tratamento dos gases provenientes da combustão dos motores. Esta evolução acarreta em mudanças bruscas nos projetos atuais em fase produtiva, fazendo com que os motores sofram alterações em suas características básicas e mais componentes sejam agregados especificamente a cada aplicação. Como consequência os processos de manufatura destes motores são forçados a serem alterados, em alguns casos de forma drástica.

Na figura 6 é possível analisar comparativamente a redução dos parâmetros resultante do processo de combustão dos motores diesel para controle de emissão de poluentes:

MP = Material Particulado;

HC = Hidrocarbonetos;

CO = Monóxido de carbono;

NOx = grupo de óxidos de nitrogênio formado pelo óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂);

Na tabela 1, além dos valores de cada um dos parâmetros mencionados no gráfico da figura 6, pode-se avaliar as datas de introdução de cada uma no mercado europeu. Na tabela 2, estão exemplificados os testes necessários no atendimento dos requisitos, os quais não serão parte integrante do desenvolvimento desta dissertação.

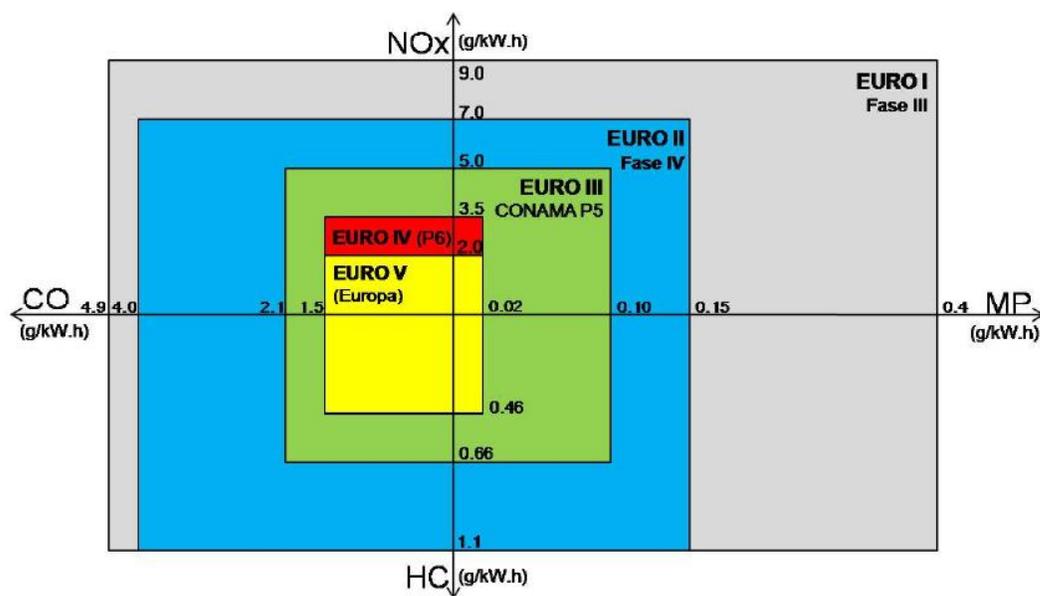


Figura 6: Cenário evolutivo dos Standards de poluentes (DIESELNET, 2011)

Tabela 1: Comparativo entre as normas de emissão de poluentes europeias para veículos comerciais leves (DIESELNET, 2011)

EU Emission Standards for Light Commercial Vehicles, g/km							
Category†	Tier	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
N₁, Class I ≤1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	-	0.97	-	0.14
	Euro 2, IDI	1998.01	1.0	-	0.70	-	0.08
	Euro 2, DI	1998.01 ^a	1.0	-	0.90	-	0.10
	Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05
	Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025
	Euro 5	2009.09 ^b	0.50	-	0.23	0.18	0.005 ^e
	Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005 ^e
N₁, Class II 1305-1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	-	1.40	-	0.19
	Euro 2, IDI	1998.01	1.25	-	1.0	-	0.12
	Euro 2, DI	1998.01 ^a	1.25	-	1.30	-	0.14
	Euro 3	2001.01	0.80	-	0.72	0.65	0.07
	Euro 4	2006.01	0.63	-	0.39	0.33	0.04
	Euro 5	2010.09 ^c	0.63	-	0.295	0.235	0.005 ^e
	Euro 6	2015.09	0.63	-	0.195	0.105	0.005 ^e
N₁, Class III >1760 kg	Euro 1	1994.10	6.90	-	1.70	-	0.25
	Euro 2, IDI	1998.01	1.5	-	1.20	-	0.17
	Euro 2, DI	1998.01 ^a	1.5	-	1.60	-	0.20
	Euro 3	2001.01	0.95	-	0.86	0.78	0.10
	Euro 4	2006.01	0.74	-	0.46	0.39	0.06
	Euro 5	2010.09 ^c	0.74	-	0.350	0.280	0.005 ^e
	Euro 6	2015.09	0.74	-	0.215	0.125	0.005 ^e

† Para as normas Euro 1 e Euro 2 as categorias de massa N1 eram Class I ≤ 1250 kg, Class II 1250-1700 kg, Class III > 1700 kg.
a - até 30.09.1999 (após esta data os motores diesel de injeção direta devem atender os limites IDI)
b - 01.2011 para todos os modelos
c - 2012.01 para todos os modelos
d - aplicável somente para veículos com motores diesel de injeção direta
e - proposto alteração para 0.003 g/km utilizando o procedimento de medição PMP

Tabela 2: Comparativo entre as normas de emissão de poluentes européias para veículos comerciais pesados (DIESELNET, 2011)

EU Emission Standards for HD Diesel Engines, g/kWh (smoke in m ⁻¹)							
Tier	Date	Test	CO	HC	NOx	PM	Smoke
Euro I	1992, < 85 kW	<u>ECE R-49</u>	4.5	1.1	8.0	0.612	
	1992, > 85 kW		4.5	1.1	8.0	0.36	
Euro II	1996.10		4.0	1.1	7.0	0.25	
	1998.10		4.0	1.1	7.0	0.15	
Euro III	1999.10, <i>EEVs only</i>	<u>ESC & ELR</u>	1.5	0.25	2.0	0.02	0.15
	2000.10		2.1	0.66	5.0	0.10 0.13 ^a	0.8
Euro IV	2005.10		1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
Euro V	2008.10		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5
Euro VI†	2013.01		1.5	0.13	0.4	0.01	

† Proposta (16.12.2008)
a – para motores com volume de deslocamento menor do que 0.75 dm³ por cilindro e rotação de máxima potência maior do que 3000 min⁻¹

Durante o desenvolvimento do PROCONVE, assim como realizado em outros países, foi a adoção de limites progressivamente mais restritivos no controle de emissões. Os limites adotados são extremamente similares aos limites utilizados na Europa, porém no Brasil há uma defasagem temporal da norma nacional vigente com relação à respectiva norma européia. É comum encontrarmos na literatura disponível as fases do PROCONVE relacionadas com as normas de emissões européias.

Na tabela 3, pode-se observar a evolução das normas de emissões brasileiras e a respectiva equivalência com a norma européia.

Tabela 3: Evolução das normas brasileira de emissões de poluentes. Adaptado de (CONAMA, 2011)

Datas de implantação dos novos limites de emissões para veículos pesados (1)		
Data	Fase do PROCONVE	Aplicação
jan/04	P - 5 (Similar a EURO III)	100% ônibus urbanos ou
		60% ônibus urbanos (2)
jan/05	P - 5 (Similar a EURO III)	100% microônibus
		100% ônibus urbanos (3)
		40% demais veículos ou
		60% demais veículos (3)
jan/06	P - 5 (Similar a EURO III)	100% demais veículos
jan/09	P - 6 (4) (Similar a EURO IV)	Todos os veículos
jan/12	P - 7 (5) (Similar a EURO V)	Todos os veículos

1 - Conforme a Resolução CONAMA nº 315/02. "P" = veículos pesados.
2 - O fabricante poderá optar por 60% desta data, a ser integralizado em jan/05 e, neste caso, deverá atender com 60% dos demais veículos em jan/05.
3 - No caso da opção 2.
4 - Fase não implantada por problemas de disponibilidade nacional do óleo diesel adequado a essa fase. Os limites da fase P7 irão recuperar os ganhos ambientais da fase P6.
5 - Conforme a Resolução CONAMA nº 403/08.

2.1.1.2. Demanda pelo aumento de desempenho motores de combustão

A atual demanda no aumento de potência e torque dos motores de combustão interna está associada à atual competitividade do mercado que o setor automobilístico se encontra. Além dos resultados de aumento de potência e torque, o cliente final também leva em consideração outros dois fatores que tem sido cada vez mais solicitado no instante da compra de um veículo automotor: o consumo de combustível e o espaço interno. Estes dois itens culminam em uma condição de contorno de projeto de produto, o *downsizing*, o qual trata-se de uma redução de capacidade volumétrica do motor, mantendo-se os valores de performance de motores de maior cilindrada por meio de sobre-alimentação e / ou outros artifícios que não fazem parte do escopo desta

dissertação. A partir desta demanda, com o objetivo de atender às expectativas de potência e torque que o mercado demanda, novas características de produto são agregadas as condições de contorno do projeto dos motores, tais como: injeção direta de combustível, sobrealimentação e tecnologias híbridas. Outro resultado de todas as alterações supra-listadas, são as grandes alterações necessárias nos processos de fabricação hoje utilizados nos fabricantes de motores de combustão.

2.1.1.3. Redução de custo do produto

Grande parte dos fabricantes de motores diesel tem como atividades básicas a montagem / teste dos motores e a fabricação de alguns componentes do motor internamente. Popularmente conhecido na indústria automotiva como os 5 C's – *Crankcases, Cylinder Heads, Crankshafts, Camshafts e Connecting Rods* ou em português bloco do motor, cabeçotes, virabrequim, eixo comando de válvulas e bielas lideram como os itens mais manufaturados dentro dos fabricantes de motor. Estas atividades resumem-se na usinagem, e em alguns casos, no tratamento superficial, deixando operações de fundição e conformação mecânica sob gestão de terceiros. Os motivos dos fabricantes de motores continuarem a produzir estes itens internamente, ainda são baseados na tentativa de proteger a propriedade intelectual sobre o produto, o custo logístico elevado, pois se trata de componentes em que o transporte representa percentualmente um altíssimo valor agregado, e a possibilidade de redução do custo de inventário, visto o alto valor das peças em questão.

A fabricação dos componentes mencionados acima representa um custo agregado de 22 % ao preço de venda do motor, segundo dados de um fabricante de motores. Considerando os custos de fabricação de um motor diesel, incluindo todo o

processo usinagem de componentes (5Cs), de montagem e testes, o processo de usinagem corresponde a 72% de todos os processos de fabricação de um motor diesel. Baseando-se nesta divisão percentual, tem-se cada vez mais a engenharia de produto dedicada à utilização de itens mais baratos e / ou tentando a simplificação de projeto com objetivo de aumento da competitividade.

2.1.1.4. Competitividade

Nos dias atuais, a competitividade tem sido um dos fatores mais importantes na sobrevivência de um negócio. A competitividade é a capacidade de uma organização de oferecer ao mercado alternativas capazes de motivar a troca da organização detentoras de produto para aquela substituta (AGOSTINHO, 1995). De acordo com LEVY,1992 a competitividade é a arte de diferenciar-se dos concorrentes conquistando novos clientes sempre (LEVY, 1992).

Nas últimas décadas, a indústria, quase em sua maioria a norte-americana, incorporou alguns fatores que contribuíram para o ganho de competitividade de suas empresas. Estes fatores consistiam em vantagem competitiva em relação aos concorrentes e propiciavam uma posição favorável no mercado, alguns destes fatores são indicados na tabela 4.

Tabela 4: Fatores de competitividade ao longo das décadas (AGOSTINHO, 1995)

Década	Fator de competitividade
50/ 60	Diferenciação no custo
70	Qualidade
80	Flexibilidade
90	Tempo de resposta ao mercado

No início da indústria de manufatura, suportada pelos fundamentos de Taylor e Ford, o desafio era produzir com o menor custo possível, formato este que consolidou o sistema de produção em série nas mesmas empresas que produziam o mesmo produto em larga escala (GEORGES M. R., 2001). No entanto, além da diferenciação em custos, observava-se à necessidade de também se diferenciar dos concorrentes através do oferecimento de produtos com qualidade superior, tornando a qualidade o fator de diferenciação dos produtos. Na década de 80 do século XX, qualidade e custo não eram mais suficientes para atrair o cliente, impondo as empresas à necessidade de serem flexíveis, oferecendo produtos novos em períodos cada vez mais curtos, incorporando aos produtos os novos artefatos tecnológicos e as linhas condizentes com as tendências atuais da época. Na década de 90 do mesmo século, não bastava produzir diversas linhas de produtos para agradar segmentos de clientes com preferências semelhantes, mesmo sendo mais barata e com qualidade. Era necessário ter alta capacidade de resposta aos estímulos do ambiente, identificando as características do produto conforme cada cliente e rapidamente oferecer este produto, praticamente personalizado, a custos de produção em série e com qualidade assegurada.

À medida que se cria um fator de competitividade os valores anteriores são considerados como já incorporados, perdendo sua função diferenciadora. Esses fatores que se tornam de domínio público, são conhecidos como *commodity*. O *commodity* pode ser definido como produtos produzidos em larga escala e comercializados em nível mundial, ou seja os fatores de diferenciação e competitividade passam a restringir-se ao preço de venda, competitividade logística e sazonalidade.

Existem tipos básicos de vantagem competitiva, combinada com o escopo de atividades, pela qual uma empresa procura alcançá-los, com três estratégias genéricas:

- Melhor custo do mercado;

- Diferenciação;
- Estratégia de foco (esta pode ser dividida em dois outros tipos: custo-foco e foco-diferenciação).

O conceito de estratégias genéricas é que a vantagem competitiva é o ponto principal de qualquer estratégia e, alcançar a estratégia competitiva, requer que a empresa faça uma escolha do tipo de vantagem competitiva que ela quer alcançar no escopo, dentro do qual ela irá alcançá-lo.

O estalo de competição de uma indústria depende de cinco forças básicas. O conjunto das potencialidades dessas forças determina o potencial de lucratividade da empresa, e, são também, de grande importância para a formulação estratégica. Algumas características são críticas para a funcionalidade de cada força competitiva, tais como (GEORGES M. R., 2005):

- Ameaça de novos competidores: Este fato se dá pela quebra das barreiras de entrada em nichos de mercado, tais como: pela aquisição de um capital mínimo adquirido, pela economia de escala que pode ser atingida, acesso de canal de distribuição e políticas governamentais favoráveis.
- Poder dos fornecedores e dos compradores: isto depende do número de características de sua situação no mercado e da relativa importância de suas vendas ou compras da empresa, comparados com outros negócios.
- Produtos substitutos: este fato se manifesta pela maior atratividade em preço e desempenho do produto substituto. Produtos substitutos que merecem maior atenção estrategicamente são aqueles que:
 - São sujeitos a melhorias entre desempenho e preço comparados com produto da empresa;

- São produzidos por indústrias com altas taxas de lucro.

O ganho em vantagem se dá pela rivalidade entre competidores, sendo que são usadas as táticas de competição em preços, lançamento de produtos e / ou anúncios e comerciais. Os competidores são numerosos ou são iguais em tamanho e poder, portanto, com necessidades de ganhar maior fatia de mercado.

A partir das características discutidas acima é possível afirmar que a vantagem competitiva é construída na habilidade de utilizar o negócio para prover consumidores com o valor desejado e recebido no menor custo de entrega. Outro fator importante que merece ser destacado é que nem todas as atividades do negócio oferecem o mesmo potencial para construir as vantagens competitivas. A escolha de qual vantagem a ser adotada, será função do estágio de desenvolvimento da própria indústria, assim como, pelo caminho que os competidores estão se movendo.

2.2. Exemplos de empresas que introduziram sistemas PLM

Muitas empresas vêm utilizando recursos eletrônicos na tentativa de gerenciar documentos providos pela engenharia de produto. Basicamente, o objetivo das engenharias de produto e industrial é reduzir o tempo de lançamento de novos modelos no mercado e isso somente é possível reduzindo o tempo estudos de engenharia para lançamento de um novo produto e esta redução acontece reduzindo o período empírico entre *design* e validação de protótipos. Nos dias atuais, esta redução é possível com a introdução de softwares de simulação, os quais proporcionam ao usuário, desde simular a condição de funcionamento de uma peça dentro de um veículo tão quanto simular uma planta produtiva em pleno funcionamento.

Muitas empresas têm publicado *cases* de sucesso, juntamente com seus respectivos parceiros na implementação de ferramentas de gerenciamento de ciclo de vida, os quais têm trazidos grandes benefícios as empresas que pretendem utilizar deste tipo de sistema integrado de gestão. Muitas empresas têm obtido resultados significativos em redução no tempo de desenvolvimento, ganhos financeiros e principalmente diminuindo o *time to market*, e conseqüentemente aumentando a competitividade entre as grandes empresas do mercado (SIEMENS, 2010).

Estes softwares têm como principal característica o gerenciamento de todo o portfólio de engenharia da companhia, atualizando simultaneamente ao progresso do desenvolvimento as demais áreas da companhia, as quais não estão diretamente envolvidas nos projetos de componentes como, por exemplo: Manufatura, Compras, Qualidade e Serviços. Com este envolvimento prévio de todos estes times de trabalho nos modelos 3D e dados provenientes dos estudos, possíveis problemas que seriam detectados em fases posteriores ao desenvolvimento do trabalho podem ser identificadas em fases prévias, onde investimentos com ferramentais, engenharia nos fornecedores e horas do seu *staff* interno não foram disponibilizados. Esta interação tem um impacto direto no *timing* do projeto e nos investimentos necessários para desenvolvimento deste.

2.3. PLM Engineering

Naturalmente todos os produtos (produtos físicos tão quanto serviços) passam por um ciclo de vida (HERRMANN, THIEDE, LUGER, ZEIN, STEHR, & HALUBEK, 2009) do desenvolvimento e produção passando pela utilização e descarte. Todos estes processos são guiados por processos de negócios, que em

algumas empresas estão bem claros e descritos e em outras está apenas concentrado com algumas pessoas sem quaisquer registros sistêmicos.

A documentação de processos de negócios é realizada por meio de modelos dos processos. Um modelo é uma representação da realidade, na grande maioria das vezes com utilização de elementos gráficos, os quais representam o funcionamento em uma maneira esquemática. Independentemente das variações possíveis, os modelos de processo geralmente representam os seguintes elementos: atividades e sua seqüência, informações de entrada e de saída de cada atividade (fluxo de informações), pessoas ou áreas de organização responsáveis pela execução das atividades e recursos utilizados para executar atividades (ZANCUL, 2009). A Figura 7 exemplifica de maneira esquemática, o formato de geração de modelos de negócios aplicados na indústria atualmente entre todos os principais concorrentes de determinado mercado.

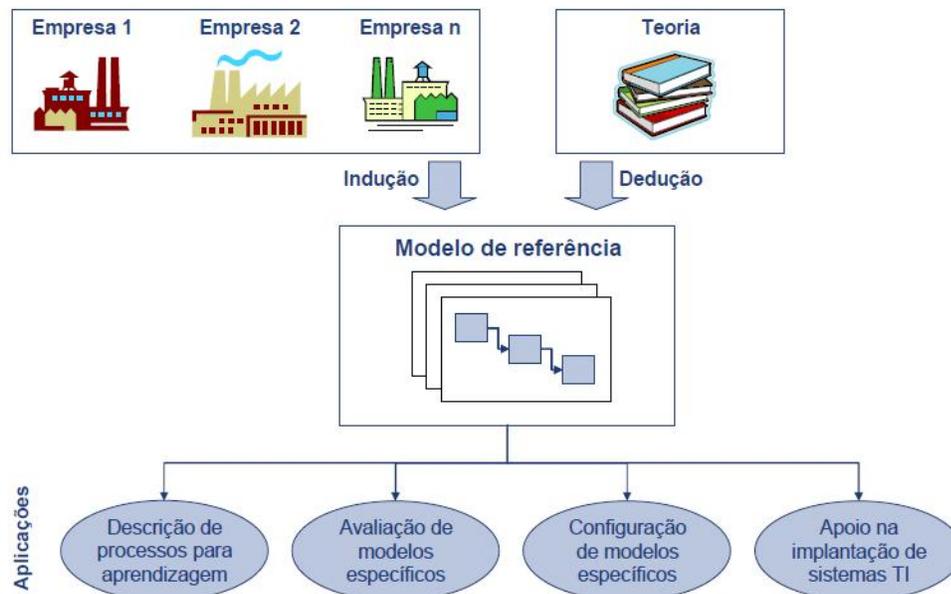


Figura 7: Exemplo esquemático do modelo de referência (ZANCUL, 2009)

A dez práticas de gestão de ciclo de vida de produtos foram compiladas e ilustradas por retângulos na parte inferior, posicionando as fases do ciclo de vida em relação aos processos de negócio de uma empresa (ZANCUL, 2009)

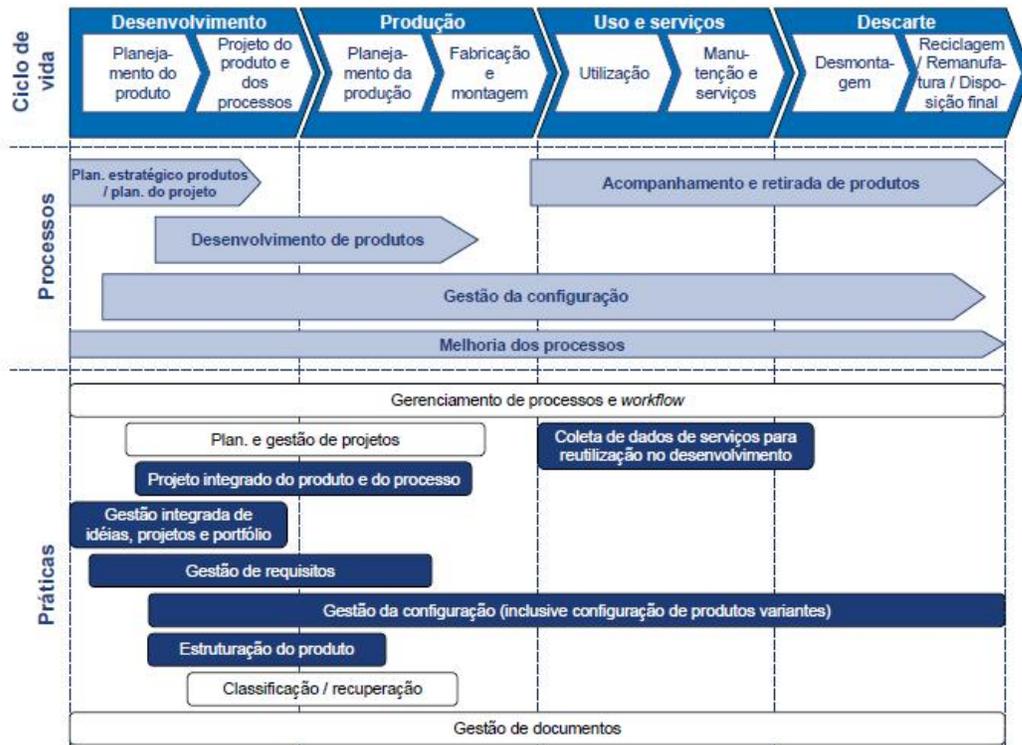


Figura 8: Práticas de gestão do ciclo de vida de produtos (ZANCUL, 2009)

Existe uma ampla variedade de sistemas PLM no mercado. Os softwares disponíveis no mercado podem ser diferenciados em relação a sua origem e em relação a seu posicionamento no mercado.

Com relação a origem, podemos considerar os softwares evoluídos a partir dos sistemas CAD. Também podemos mencionar as soluções PLM mais completas, as quais são parte de uma solução ERP completa. Finalmente podemos mencionar os sistemas de gestão de dados de produtos desenvolvidos originalmente para este mercado ascendente e que se mantém focado neste escopo.

As funcionalidades PLM gerenciadas pelos softwares disponíveis no mercado podem ser resumidamente descritas conforme indicada abaixo (ZANCUL, 2009):

- Gestão de documentos: os documentos são descritos por metadados e são armazenados em um “cofre” de dados, conhecidos como *vault*. Cada documento pode ser relacionado a um ou mais objetivos do sistema e pode ser visualizado. Além disso, as funções apóiam a publicação de documentos técnicos e o arquivamento de longo prazo de documentos, como desenhos de engenharia;
- Estruturação de produtos: os dados mestres do produto são criados e gerenciados por este grupo de funções. Os materiais e outros objetos do sistema são classificados de acordo com um sistema de classificação predefinido. Isso reduz o esforço necessário para procurar e reutilizar informações existentes. A estrutura de produto e as listas de materiais – *Bill of Materials* (BOM) – podem ser gerenciadas de acordo com as perspectivas, também chamadas de “visões” (visão de desenvolvimento, visão de logística, visão de manufatura, etc);
- Gestão de mudanças e controle da configuração: abrange a gestão de mudanças nas informações e nos documentos de produto e o controle da configuração do produto ao longo de todo o ciclo de vida;
- Colaboração: engloba funções como *workflow*, videoconferência, compartilhamento de aplicativos e banco de dados de conhecimento, que possibilitam a cooperação entre os membros dos times do projeto;
- Gestão de Projetos: além do planejamento e execução de projetos individuais, o planejamento integrado de múltiplos projetos também é apoiado por esse grupo de funções.

- Suporte para integração de sistemas: compreende os padrões e as interfaces necessárias para possibilitar a troca de dados entre as soluções de TI usadas na empresa.

Atualmente, existe uma ampla oferta de sistemas de TI para apoiar a gestão de ciclo de vida de produtos. Dentre os principais fornecedores do mercado para sistemas PLM são: SAP, Siemens PLM – antiga UGS, Dassault, PTC e Oracle/Agile (CIMdata, 2011).

Segundo a avaliação realizada por uma consultoria especializada (CIMdata, 2011), o PLM resulta em importantes benefícios para as empresas. Estes benefícios foram relatados com base em estudos empíricos, por estudo de caso e pela literatura especializada, os quais podem ser mencionados conforme a seguir:

- Padronização de processos;
- Automatização de procedimentos repetitivos;
- Melhoria do fluxo de informações;
- Aumento da intensidade de comunicação e do nível de cooperação;
- Redução do tempo despendido em atividades que não agregam valor;
- Maior facilidade de acesso as informações atualizadas dos produtos / processos;
- Diminuição de erros e retrabalhos;
- Redução da quantidade de mudanças realizadas nos produtos – principalmente nas etapas mais avançadas do desenvolvimento;
- Aumento da reutilização de itens e de documentos existentes;
- Maior grau de preenchimento dos requisitos dos grupos de pessoas envolvidos;
- Aumento da variedade de produtos para clientes;

- Redução da complexibilidade;
- Melhor aproveitamento do conhecimento gerado e disponível na empresa;
- Maior disponibilidade de empresas confiáveis;

2.3.1. Utilização de sistemas flexíveis na Manufatura

Pressionadas pelo aumento da competitividade no mercado e pelo ciclo de vida de produto cada vez menores, muitas empresas tem automatizado seus processos de produção buscando uma melhoria na flexibilidade e produtividade.

Devido ao reconhecimento da importância da flexibilidade como um fator decisivo em tomadas de decisão e planejamento, iniciaram-se tentativas para definir o termo flexibilidade que puderam ser sumarizadas em Nível de Flexibilidade de Máquinas e Nível de Flexibilidade de Gerenciamento do Sistema (CHEN, 1989).

Em geral, a flexibilidade de um sistema de produção é medida pela capacidade de se adaptar às mudanças do meio envolvido ou dos requisitos do processo produtivo. De acordo com o conceito de Manufatura Flexível e Gerenciamento do Sistema conduzido pela Toyota (MASUYAMA, 1983) existem dois fatores que podem ser utilizados com indicadores para o nível de flexibilidade de um determinado sistema:

Resposta rápida para mudanças: Os envolvidos no processo de mudança podem ser: o volume de produção, mudança no produto ou até no processo de produção onde são avaliados a rapidez tão quanto o *lead time* entre o recebimento da ordem do cliente e a conclusão do produto na nova configuração;

Resposta econômica para a mudança: Resposta rápida para a mudança sozinha é inadequada para avaliação total de flexibilidade do sistema, desde que o sistema seja

desenvolvido para ser capaz de responder para a mudança muito rápida, mas com uma enorme quantidade de investimento. Este exemplo será bastante explorado ao longo desta dissertação, quando se usa um FMS com um grande número de máquinas-ferramentas versáteis, robôs industriais sofisticados e sistema de movimentação de material capazes de responder a mudanças muito rápidas, como ilustrado na Figura 10. Entretanto o alto investimento necessário pode não ser economicamente justificado e fatores como nível de inventário e taxa de utilização dos equipamentos devem ser avaliados em conjunto.

Analisando holisticamente a questão flexibilidade, não é possível apenas analisar ou prover indicadores de flexibilidade para determinado sistema, pois os investimentos necessários para obtenção de tal vantagem competitiva devem ser parte da matriz de decisão da mudança no instante de realização da mesma, pois estes sempre serão avaliados pelo mercado na parcela integrante do preço final do produto a ser manufaturado.



Figura 9: Exemplo de linha tranfer – Ingersoll Production Systems



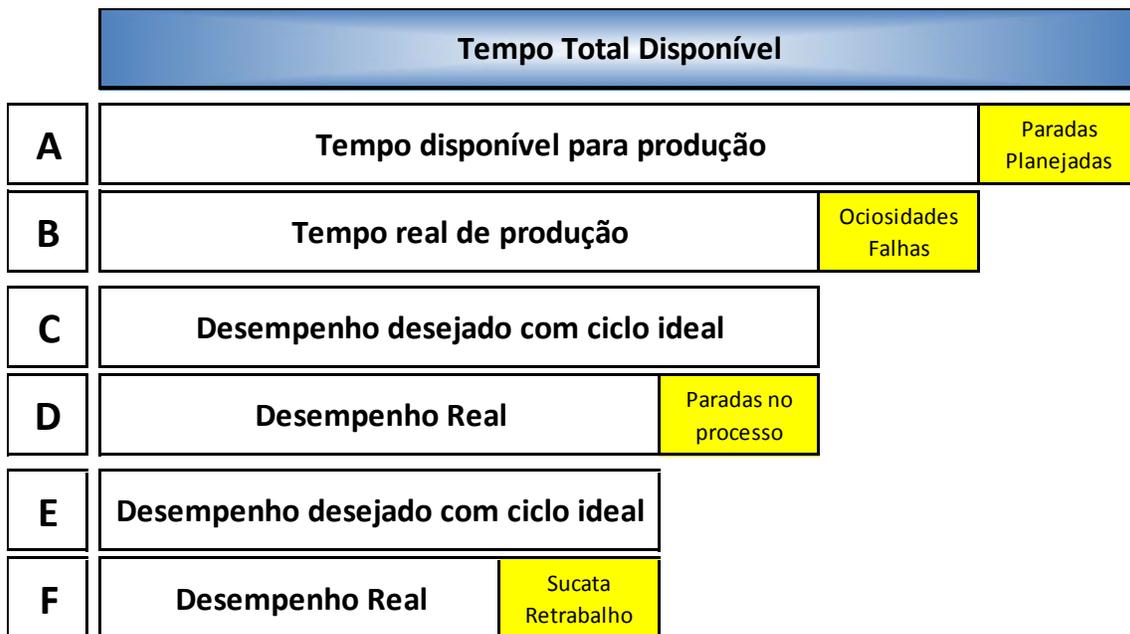
Figura 10: Exemplo de linha flexível com centros de usinagem – B. GROB GmbH

2.4. Controle da eficiência de performance de produção na manufatura

No cenário atual da manufatura automotiva, um indicador muito difundido para mensurar a eficiência das linhas de manufatura é o O.E.E. - *Overall Equipment Effectiveness*.

O indicador OEE apresenta uma métrica simples, clara e global onde os gestores a apreciam por ser um indicador agregado, ao invés de métricas muito detalhadas. O O.E.E. não é apenas um indicador operacional, e sim também um indicador que mede as atividades dos processos envolvidos com a operação e é recomendado para ambientes de alto volume de produção onde a utilização da

capacidade produtiva é um item de alta prioridade e paradas ou interrupções são caras em termos de perda de capacidade (RON, 2005).



$$OEE = \frac{B}{A} \times \frac{D}{C} \times \frac{F}{E}$$

$$\text{Índice de disponibilidade} = \frac{B}{A}$$

$$\text{Índice de desempenho} = \frac{D}{C}$$

$$\text{Índice de qualidade} = \frac{F}{E}$$

Figura 11: Cálculo do índice de OEE – adaptado de (INSTITUTE, 1999)

É importante destacar que somente a medição do OEE, não fornece a ferramenta de suporte para programas de melhorias. O poder deste indicador está em ligar os indicadores de desempenho para identificar as maiores perdas dos equipamentos.

O objetivo mais importante do OEE não é obter boas medições e sim obter uma medição simples que diga onde gastar os recursos de melhoria. A importância de se aperfeiçoar os equipamentos e atuar nas maiores perdas (obtidas através do OEE) se concretiza quanto há aumento de produção: a melhoria da eficácia descarta a necessidade de novos investimentos (TANGEN, 2003).

O OEE é mensurado a partir da estratificação das seis grandes perdas e calculado através do produto dos índices de Disponibilidade, Desempenho e Qualidade. Um OEE de 85% deve ser buscado como meta ideal para os equipamentos. As empresas que obtiveram OEE superior a 85% têm sido reconhecidas o prêmio TPM Award (NAKAJIMA, 1989).

A partir da análise do método de cálculo de OEE, entende-se que a produção de um produto não conforme também pode afetar a disponibilidade da máquina, pois este produto ocupa o tempo de processamento para um item que também é considerado desperdício. Entretanto, verifica-se que este tipo de perda é classificado como perda de qualidade, pois facilita na identificação das causas desses desperdícios. Caso fosse considerado também nos itens de disponibilidade e desempenho, este fato faria com que o OEE da máquina fosse subestimado já que o indicador seria penalizado por mais de uma vez pelo tipo de desperdício.

O OEE vem sendo adotado por diversas indústrias como principal métrica de eficiência. Este índice controla de maneira simples, mas em algumas aplicações há inconvenientes e dificuldades podem ser encontradas (COSTA & LIMA, 2002). O maior problema apresenta-se quando os problemas e ineficiências de uma linha não podem ser classificados facilmente em termos das seis grandes perdas. Para esses casos a ausência dessa ligação (entre eficiência do equipamento e as grandes perdas) pode gerar problemas de leitura dos componentes do indicador OEE, que podem levar

a uma concepção de uma estrutura errada de perdas. Para resolver esse problema, foi proposta uma estrutura como alternativa para classificar as perdas onde o bloqueio ou de falta de materiais podem ser uma consequência de todo o processo produtivo e que impactam na real utilização dos equipamentos. Isto porque a eficiência de um equipamento instalado dentro de uma fábrica, onde as máquinas usualmente não estão isoladas, operam em conjunto para a linha de produção. Os trabalhos específicos precisam ser realizados para que as peças possam ser processadas nos equipamentos e depois, o material é transferido, armazenado e as paradas nessas atividades tem impacto direto no desempenho dos equipamentos e vice e versa.

Dentre todas as fontes bibliográficas analisadas pode-se afirmar que o OEE envolve todo o ambiente de manufatura, e não somente a disponibilidade do equipamento. O índice obtido mede as perdas de eficiência quando o equipamento está disponível para produzir: identificam os desperdícios resultantes de refugos, retrabalhos, paradas de máquina e perdas de desempenho. Assim, analisando a eficiência do equipamento, é possível que o usuário promova mecanismos e oportunidades para melhorar a operação devido a:

- OEE é uma medida de eficiência de equipamento quando existe trabalho disponível para ser executado e excluiu o tempo em que não há produção programada (por esse motivo, por exemplo, a falta de demanda de clientes não pode penalizar o indicador);
- OEE é uma medida de eficiência do equipamento relativa a produção programada. Para o cálculo do OEE é necessário um modelo capaz de identificar as paradas programadas ou a falta de programação de produção (devido a falta de demanda de clientes) para os equipamentos;

- A medição de OEE sozinha não promove uma ferramenta de melhorias. A vantagem do indicador está em fazer a ligação entre OEE e as informações sobre as maiores perdas do equipamento;
- Um bom gerenciamento do indicador OEE permite usá-lo como uma ferramenta de suporte para a restrição e sua melhoria e, promove consequentemente, um aumento de output através da eliminação de desperdícios;

Outro fator que é consenso em todas as referências relacionadas, é a necessidade de fazer uma análise crítica dos fatores que compõem o indicador OEE. O Productivity Development Team afirma que o indicador OEE mede a eficiência dos equipamentos e não da mão-de-obra, mas quando o equipamento necessita da intervenção de operadores, estes são medidos de forma indireta (INSTITUTE, 1999). Isto devido aos componentes desse indicador se mostrarem capazes de diagnosticar perdas de OEE relacionadas à eficiência operacional e vice-versa. Exemplos de perdas que podem ser identificadas com o indicador são:

- Falta de treinamento (que ocasionam deficiências no tempo de ciclo da operação ou nas características dos produtos gerando, refugo ou retrabalhos);
- Falta de manutenção (a máquina não consegue atingir a velocidade máxima de produção ou quando atinge gera mais produtos não conformes, ou quando o colaborador deve fazer pequenos reajustes devido à má condição de funcionamento da máquina);
- Falta de organização do setor (o tempo de setup é alto devido à falta de ferramentas), etc.

Por isso, diz-se que a eficiência do equipamento depende de fatores que não são todos relacionados com o equipamento em si, incluindo operadores, facilitadores, a interferência dos demais equipamentos, a disponibilidade de materiais e recursos, as requisições de programação de produção, etc.

É tratado como premissa que qualquer parada de equipamento não programa como uma perda de eficiência do equipamento que poderia ser evitada ou reduzida através de trabalhos de melhoria contínua e com uma melhor gestão da produção. As paradas que são consideradas perdas consistem: setup, manutenção corretiva, espera da máquina devido à matéria-prima ou à falta de colaborador, parada de máquina devido às falhas externas a fábrica tais como falta de energia elétrica ou água, intervenções da engenharia de processos, troca de ferramentas de corte, etc.

A identificação das perdas é a atividade mais importante no processo de cálculo do OEE e a limitação das empresas em identificar suas perdas impede que se atue no restabelecimento das condições originais dos equipamentos, garantindo alcançar a eficiência global, conforme estabelecido quando o equipamento foi adquirido ou reformado. Em um ambiente de manufatura, há uma aproximação linear entre o tempo e o custo. Entretanto, existe o questionamento se a medição baseada no tempo pode ser classificada como uma medição real de produtividade, pois o tempo total não oferece informações sobre o consumo dos recursos no processo produção (COSTA & LIMA, 2002).

2.5. Utilização da simulação na Manufatura

Durante a última década, a automação tem sido amplamente adotada como componente chave para operações de movimentação de materiais dentro de instalações

industriais, processos em que o fator humano é bastante sensível, processos que envolvem periculosidade e onde a redução de mão de obra operacional é um fator competitivo.

Tanto na manufatura quanto na distribuição, a automação é usada para aumentar a produtividade, diminuição de demanda de área em prédios industriais e redução de custos operacionais. Uma vez tomada a decisão de seguir em frente o projeto levando a configuração de movimentação de materiais automatizada, esta configuração pode se tornar premissa de operação de uma planta, obviamente que respeitando critérios de volumes de produção VS. investimento envolvido.

2.5.1. Simulação

A simulação é uma réplica do modelo de funcionalidade do sistema (ou no sub-sistema) em estudo. A simulação não tem como requisito que o sistema físico esteja montado no sistema, entretanto este é apenas uma das formas de abordagem (KOFLANOVICH & HARTMAN, 2010). A chave para o uma simulação de sucesso é ter todos os pontos de interfaces externos ao sistema, tantos físicos quanto lógico, implementados em um cenário digital ou parte digital e parte físico, onde os sistemas simulados aceitam estímulo e respondem de exata maneira como um sistema real.

Em uma implementação simples, o simulador pode ser uma aplicação de desenvolvimento autônoma para replicação da interface de comunicação e prover uma capacidade de conectar para outras simulações, utilizando emuladores onde interações físicas tomam o lugar entre os sub-sistemas. Esta forma de simuladores simula a performance funcional dos equipamentos sendo simulados através de lógica, tempo, dados de movimentação e outros processos provendo feedback sobre o que está sendo simulado pelas interfaces.

O processo com o simulador é parte de um processo que está sendo simulado e precisa ser idêntico ao processo real, desde que a interface tenha funcionalidades idênticas e performances quando o simulador e o sistema real são analisados como um *Black-box* (KOFLANOVICH & HARTMAN, 2010).

Os mais complexos ou detalhados simuladores podem simular o sistema físico e todos os componentes envolvidos tão quanto os sistemas de movimentação de materiais. Estas simulações contêm as lógicas necessárias para operar todos os componentes, dispositivos e processos como no sistema físico dos mesmos modos que no sistema real. Este tipo de simulação pode ser usado para habilitar uma análise mais precisa de tempo, performance e funcionalidade do sistema com uma grande variedade de cenários testados.

A empresa em questão utiliza de ferramentas de simulação no desenvolvimento e validações de processos produtivos, porém durante a avaliação das atividades dos engenheiros responsáveis pela execução das simulações, conclui-se que o foco em simulação de manufatura ainda é bem pequeno. Esta conclusão é obtida a partir dos resultados efetivos obtidos, tanto nas linhas atuais instaladas com demanda de aumento de produtividade e disponibilidade, quanto em estudos logísticos, balanceamento de operação ou validação de output em novos projetos de manufatura.

2.5.2. Emulação

A emulação é a replicação no modelo da funcionalidade de dispositivos individuais com o sistema, baixando para o nível de sinais de controles discretos. Onde a simulação é implementada num sistema ou subsistema com processos internos (autônomos como no caso de máquinas automáticas), a emulação faz com que dispositivos discretos funcione com este subsistema, mas não fornece o controle e

processo que faz isso funcionar qualquer funcionalidade do sistema. A emulação depende de um sistema de controle externo para operar os dispositivos. Isso permite os controles atuais e o controle de software operar dentro de um sistema emulado (KOFLANOVICH & HARTMAN, 2010).

Em uma simples interpretação, um emulador pode ser uma aplicação única desenvolvida para replicar os sinais de controles discretos vindos destes sistemas únicos e enviando para todos os dispositivos do sistema tão quanto as interações entre os dispositivos que eles estão atuando e provendo capacidade de interfaces adicionais para conectar outros simuladores e emuladores onde interações físicas acontecem. Este formato de emulador simula responder a atuação de dispositivos discretos e prover feedback para quaisquer dispositivos interdependente através do uso de lógica, tempo, manuseio de dados e outros processos.

O mais completo e detalhado emulador pode incorporar o sistema físico e todos os componentes da exata maneira encontrada em um sistema real. Este tipo de emulação pode ser usado para habilitar uma análise mais precisa no que tange tempo, performance, funcionalidade do sistema e todos os cenários previstos.

Os emuladores conhecidos no mercado como *standalone*, os quais funcionam com certa autonomia em um processo diferenciado, reagem o controle de sinais de uma maneira previsível, devido a pré-programação realizada. Um emulador que incorpora um sistema físico como em um sistema real operaria em qualquer cenário de operação e não é limitado aos padrões de funcionamento pré-concebidos, proporcionando um ambiente de teste mais robusto o qual o sistema não foi testado.

Analisando os métodos de simulação e emulação, pode-se considerar como principal diferença entre os métodos, a realização virtual dentro de um computador no

caso da simulação e a realização realizada no próprio chão de fábrica no caso da emulação.

2.5.3. Análise da aplicabilidade da simulação

Após análise de todas as vantagens e desvantagens trazidas pelo uso simulação no desenvolvimento de um projeto e / ou na melhoria e aumento dos resultados de linhas produtivas é necessário uma avaliação se a simulação realmente é uma alternativa para solução do problema em questão. Antes de utilizar a simulação como ferramenta de solução de um determinado problema como uma ou mais das seguintes condições se faz presente (GEORGES M. R., 2005):

- Não existe uma completa formulação matemática ou não existe solução analítica para o problema;
- Existe solução analítica, porém o procedimento matemático envolvem uma complexibilidade tão grande que a simulação se apresenta como a maneira mais simples de obter resultados satisfatórios;
- Deseja-se obter o comportamento do sistema ao longo do tempo e não somente estimar determinados parâmetros;
- Quando a solução analítica é possível, porém a equipe técnica envolvida não está treinada ou não tem a habilidade aritmética necessária para execução. Neste caso, a simulação pode apresentar-se como uma solução sob ponto de vista técnico, de custo e de prazo mais viável que um possível treinamento de qualquer integrante;
- Quando não é possível conduzir uma experimentação direta.

- Quando se deseja conhecer efeitos de alterações a serem feitas em mudanças organizacionais e ambientais;
- Quando se deseja experimentar as interações internas de sistemas complexos ou um subsistema de um sistema complexo;
- Para conhecer as mais importantes variáveis de sistema através da mudança dos dados de entrada e verificação dos resultados da simulação;
- Como instrumento de planejamento de preparação para incorporar mudanças operacionais (políticas de produção, níveis de estoque, regras de estoque em geral);
- Para requisitar novos equipamentos através da simulação de capacidade instalada;
- Para verificar soluções obtidas por métodos analíticos;
- Quando é utilizada como instrumento pedagógico para reforçar metodologias analíticas;

A partir da análise das regras que suportam a tomada de decisão entre se usar uma ferramenta de simulação ou não, conclui-se que os modernos sistemas (fábricas, indústrias de serviços, entre outros) são tão complexos que suas interações só podem ser tratadas via simulação (BANKS, 2000).

2.5.4. Manufatura digital aplicada na indústria

Existem exemplos de empresas no mercado automotivo, as quais foram parte da pesquisa realizada para elaboração desta dissertação, em que a simulação faz uma grande diferença entre projeto, desenvolvimento e *startup* na modernização de

automatização de sistemas de movimentação, um modelo funcional de um sistema funcional do sistema completo. O escopo de modernização determinará se o modelo será aplicado a simulação ou emulação ou a combinação de ambos. Um sistema é gerado dividido em sub-sistemas e a escolha entre simulação e emulação é feita para cada um dos sub-sistemas dependendo da profundidade da modernização prevista para o trabalho.

Entretanto, durante todas as pesquisas e *benckmarking* realizados nas indústrias, com exemplos de sucesso de processos de desenvolvimento de produto, foi possível concluir que indiscutivelmente todas as empresas, as quais tem acesso a ferramenta de simulação, sabem que isso pode trazer resultados operacionais expressivos, aumento da performance produtiva e principalmente ganhos financeiros. Por outro lado, foi possível concluir que em todas as empresas em que os resultados foram numericamente expressivos, foi resultado de uma dedicação exclusiva de um departamento, seja ele interno ou terceirizado.

A evolução das simulações de manufatura dentro das grandes corporações brasileiras tem crescido bastante, porém aquém dos que vem sendo desenvolvido em países com grande foco em desenvolvimento de máquinas e equipamentos para indústria automotiva, como: Alemanha, Estados Unidos e Japão. Hoje estes grandes desenvolvedores de novas tecnologias têm sido sofridos grande pressão do mercado, no sentido de serem cada vez mais velozes no desenvolvimento e com uma eficiência produtiva cada vez maior. Esta competitividade vem principalmente dos países integrantes do BRIC.

Durante a pesquisa, analisou-se que existe uma grande dificuldade de mensurar o quanto as indústrias automotivas tem investido neste tipo de tecnologia, porém alisando apenas os números de crescimento do Brasil, por exemplo, pode-se concluir

que a indústria automotiva internacional tem se sentido bastante ameaçada com os países emergentes.

Restringindo os números no mercado veículos comerciais, pode-se visualizar na figura 12 o crescimento da produção nos últimos anos e o futuro da produção no mercado brasileiro para os próximos anos (ANFAVEA, 2010).

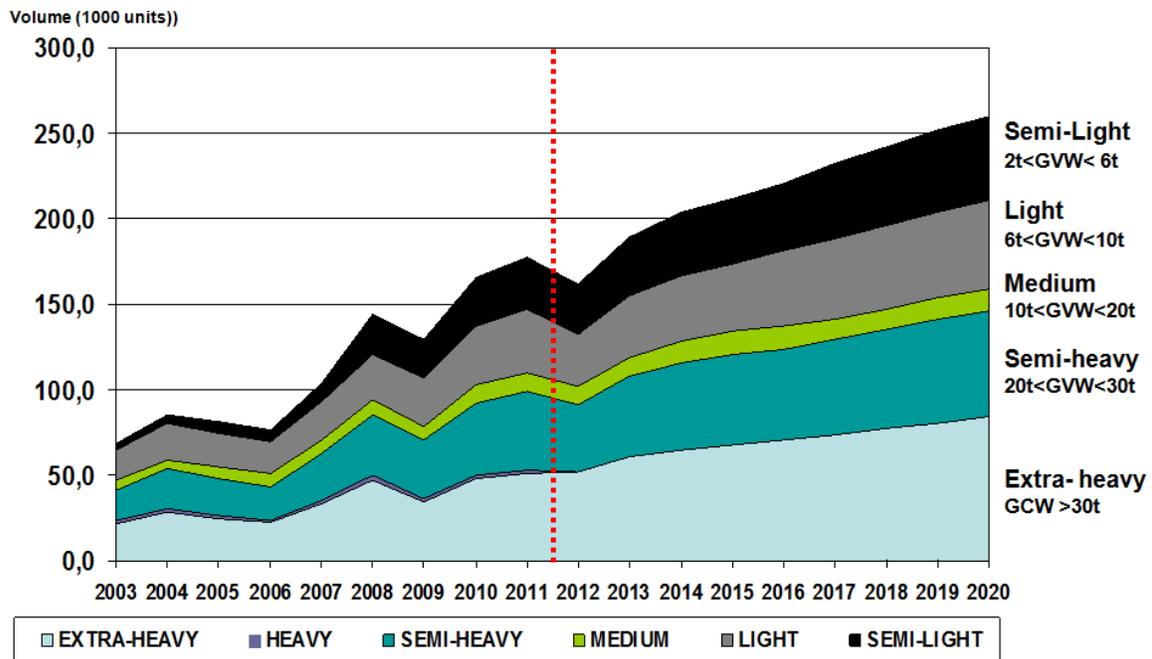


Figura 12: Crescimento e projeção de crescimento da indústria brasileira de veículos comerciais (ANFAVEA, 2010)

2.6. Estudo de tomada de decisão

O propósito da análise de decisão é subsidiar o tomador de decisão a pensar sistemicamente sobre problemas complexos e a melhorar a qualidade de decisão de resultado. Nesta relação, é importante a distinção entre a boa decisão e um resultado de sorte. Uma boa decisão é uma das coisas que faz a base através do entendimento do problema e pensamentos cautelosos relacionados aos problemas importantes.

Resultados, por outro lado, pode ser resultados de sorte ou de falta de sorte e não relacionadas a decisões de qualidade (CLEMEN, 1996).

No geral, a análise de decisão consiste numa estrutura visual juntamente com ferramentas que auxiliam na dificuldade de tomada de decisão. A incorporação de julgamentos subjetivos é um aspecto importante na análise de decisão e ótimo para desenvolver julgamentos amadurecidos adicionais, fazendo com que o tomador de decisão reflita sobre a decisão a ser tomada e possibilite o desenvolvimento de um modelo de trabalho para o problema. A estratégia completa é decompor um problema complicado dentro de pequenas parcelas os quais podem ser mais prontamente analisados e entendidos. Estas parcelas pequenas então podem ser trazidas junto para criar uma representação completa da situação de decisão. Finalmente o ciclo de análise de decisão provém do *framework* com o qual o tomador de decisão pode construir um ou mais requisitos para o modelo de decisão, que contenha os elementos essenciais do problema e de onde o tomador de decisão pode efetuar uma análise considerando uma visão geral sobre o tema em discussão.

3. Análise do desenvolvimento de novos produtos no fabricante de motores diesel

O principal objetivo deste capítulo é apresentar o processo de desenvolvimento de novos produtos dentro do fabricante de motores diesel avaliado, juntamente com sua estrutura organizacional para suportar todas estas atividades.

No final do Capítulo será feita uma análise dos problemas enfrentados pelas áreas que são responsáveis pelos processos e quais as possíveis mudanças que podem ser propostas para que o processo de desenvolvimento de novos produtos seja mais ágil e que decisões de seguir em frente com cada desenvolvimento de produto / linha de manufatura sejam tomadas com dados que proporcione maior segurança financeira a companhia em discussão.

3.1. Processo de desenvolvimento de produtos

A empresa avaliada utiliza um método de desenvolvimento de produtos no qual o modelo de processo utiliza fases e Gates. Este modelo é chamado de QVP (Plano de Qualidade e Valor) e é composto de oito fases e nove Gates. O modelo de sua estrutura é muito similar ao modelo stage-gate estudado por (COOPER, 1993).

Ao final de cada fase, os projetos são submetidos a um grupo que tem a responsabilidade da tomada de decisão de continuidade do processo, ou seja, se o projeto deve seguir para as próximas fases. Este grupo é formado pelo presidente da empresa no Brasil e por toda a diretoria.

Os resultados da fase e as decisões tomadas sobre a continuidade do projeto ou a não continuidade do processo são registrados em um documento denominado

contrato, o qual é assinado por todos os membros ali presentes, o presidente e por todos os diretores.

No processo existem objetivos estabelecidos para cada fase e, ao final destas fases existe uma apresentação do andamento do projeto mostrando se ele atingiu os objetivos. Neste momento é tomada a decisão da continuidade para próxima fase, ficar na fase atual até a solução de algum problema ou finalização de alguma atividade específica, ainda o abandono do projeto. Esta possibilidade de abandono do projeto existe, baseando na análise dos projetos nos últimos projetos desenvolvidos na empresa em questão, esta situação ocorre normalmente nas fases iniciais de planejamento e investigação. Isso se dá principalmente devido ao fato de em determinadas fases do projeto, o investimento e o comprometimento de recursos é tão grande que a empresa acaba decidindo pelo término do desenvolvimento completo.

A Figura 13 mostra esquematicamente o processo de desenvolvimento de produtos adotado, sua divisão em fases e a denominação de cada uma.

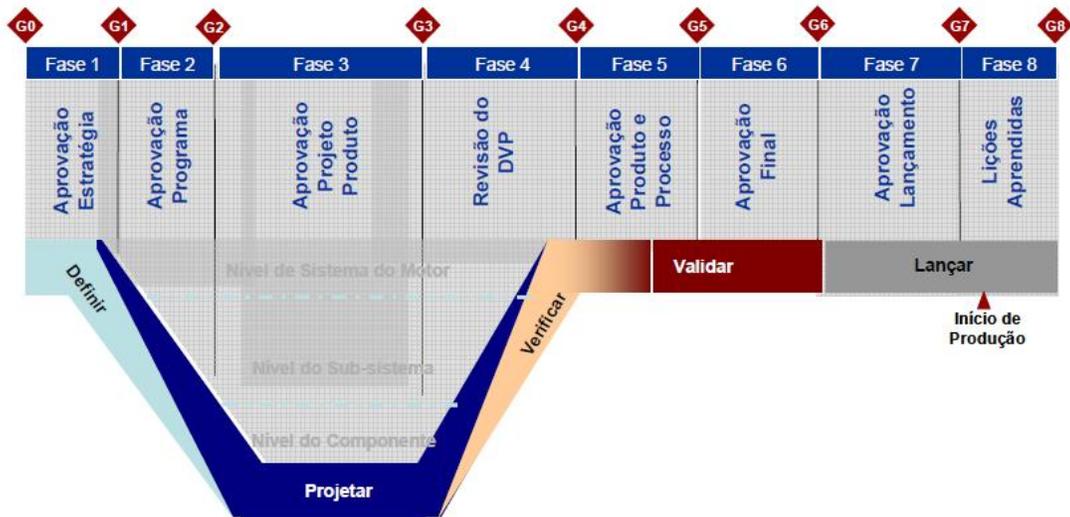


Figura 13: Modelo esquemático do QVP utilizado na empresa em questão.

A empresa em questão trata os desenvolvimentos de produtos com uma certa diferença entre programa e projeto que não atende às definições do (PMI, 2004). A

denominação de projeto cabe ao desenvolvimento de produto básico, quando não existe um cliente definido. Já a denominação programa é utilizada para a aplicação dos produtos, quando existe um cliente envolvido. Para o (PMI, 2004) um programa é um grupo de projetos relacionados gerenciados de modo coordenado para a obtenção de benefícios e controle que não estariam disponíveis se eles fossem gerenciados individualmente.

Durante a avaliação e *benchmark* realizado dentro de outras empresas do mesmo porte, consideradas Tier 1 dentro da cadeia automotiva, foi possível observar que em algumas empresas, o termo Projeto é utilizado para ambas as situações, denominando assim, um conjunto de Projetos como um outro Projeto de proporções maiores e não como um Programa como definido no (PMI, 2004).

O vale identificado na figura 13 representa a forma como os requisitos do produto são desdobrados. Inicialmente, estes requisitos são definidos para o produto e, conforme o planejamento avança, ele é desdobrado em nível de sistema e depois para o nível dos componentes. Já a verificação e validação do produto ocorrem nos níveis de sistema e depois do produto completo, ou seja, a verificação pode ser iniciada com um sistema separado como uma análise de fluxo do sistema de arrefecimento, porém a validação só estará completa quando for realizado o teste do motor completo com todos os seus componentes.

3.1.1. Fases do Processo atual

A seguir serão abordados os detalhes de cada uma das fases, transcritos do processo atual utilizado na empresa em questão:

Fase 1 - Aprovação da Estratégia: começa com o gate 0, que autoriza o início da fase. O objetivo desta fase é analisar o alinhamento do projeto com a estratégia da empresa. Nesta fase deve ser elaborado o termo de abertura do projeto (Program Charter) onde são descritas as necessidades do negócio e como o novo produto a ser desenvolvido atenderá estas necessidades. Durante esta fase ocorre o levantamento de todas as informações necessárias para responder às perguntas chave que devem ser respondidas ao final dela, a saber:

- A estratégia do programa e o plano de implementação são consistentes para obter o valor definido no termo de abertura?
- O nível de risco é aceitável para justificar o investimento requerido para obter a aprovação do programa?

As informações sobre investimento e tempo para execução do projeto ainda são preliminares e devem ser detalhadas durante a fase 2, antes da aprovação do programa.

Fase 2 - Aprovação do Programa: nesta fase, todos os objetivos devem estar desdobrados pelas diretorias e áreas da organização. A partir destes objetivos as áreas fazem o levantamento das necessidades de recursos e tempo para a execução do projeto. As perguntas que devem ser respondidas ao final desta fase são:

- O programa demonstrou viabilidade de implementação técnica e financeira de modo a obter o valor do negócio definido no termo de abertura?
- A empresa deve se comprometer a executar o programa com o cliente, dadas as restrições e leque de estratégias conhecidas neste momento?

Fase 3 - Aprovação do projeto do produto: após a aprovação do programa, a fase inicial de execução é o projeto do produto. Aqui são definidos os projetos iniciais

dos componentes do produto. As perguntas que devem ser respondidas ao final desta fase são:

- Os projetos do produto e do processo atenderão aos objetivos de desempenho, qualidade, financeiro e de cronograma?
- O grau de risco do programa em termos técnico, financeiro e de cronograma é aceitável para liberar os recursos de longo prazo?

Fase 4 - Verificação do projeto do produto: nesta fase é realizada a verificação do projeto do produto que foi definido na fase anterior, com o objetivo de demonstrar sua viabilidade técnica, demonstrando que a função para a qual o produto foi projetado é atendida. As perguntas desta fase são:

- Os resultados da verificação e a maturidade do projeto do produto demonstram que ele irá atingir as metas e são suficientes para iniciar a fase de validação estatística?
- O grau de risco do programa, em termos técnico, financeiro e de cronograma é aceitável para liberação do saldo remanescente de investimento?

Fase 5 - Aprovação do produto e do processo: aqui o projeto do produto e do processo é validado com o objetivo de demonstrar a manutenção das características funcionais ao longo do tempo. As perguntas chave ao final desta fase são:

- O projeto do produto e do processo foi verificado para de atingir os objetivos: financeiro, de desempenho e de qualidade, e atender o valor do negócio estabelecido de termo de abertura?
- A organização está pronta para iniciar os preparativos para o lançamento do produto?

Fase 6 - Aprovação final do produto: nesta fase os testes de validação precisam ser finalizados com o objetivo de demonstrar que o produto está pronto para ser lançado no mercado. Nesta fase existem as homologações legais para emissões de gases e ruídos de acordo com a legislação vigente. As perguntas ao final desta fase são:

- Todos os requisitos para a certificação do produto foram alcançados?
- O produto, a fábrica e a empresa estão prontos para conduzir a validação de produção?

Fase 7 - Aprovação do lançamento: os produtos devem ser produzidos no processo final e em volume representativo. Os testes de validação da linha de produção devem ser realizados. Ao final desta fase as seguintes perguntas devem ser respondidas:

- Os resultados dos testes de validação da produção demonstram que os fornecedores e a empresa possuem habilidade para executar o lançamento do produto com sucesso?
- A empresa e o cliente estão prontos para iniciar a produção até os volumes esperados?

Fase 8 - Lições aprendidas: nesta fase o ritmo final de produção é atingido e o time de projeto acompanha todos os resultados alcançados até três meses depois do lançamento. As lições aprendidas devem ser levantadas, registradas e incorporadas ao processo e aos projetos em andamento. Suas perguntas finais são:

- As lições aprendidas foram capturadas e incorporadas aos próximos projetos?
- A capacidade de produção atingiu um nível de maturidade que permite com que o time de programa possa ser realocado?

Conforme foi possível observar, os objetivos definidos no termo de abertura do projeto são desdobrados pelas fases e pelas áreas, desta forma, cada área funcional da empresa tem seus objetivos definidos para cada fase do projeto.

Tomando como base cada uma das fases, pode-se notar que a sobreposição de fases é difundida na empresa em questão e inclusive prevista no QVP. Outra característica que já está consolidada na empresa são as revisões flexíveis de fase, onde existe a possibilidade da aprovação condicional. Nestes casos o projeto pode passar para a próxima fase, porém é agendada uma revisão dos itens pendentes em uma próxima reunião mensal para nova submissão.

3.1.2. Análise do QVP

Os pontos principais que tem que ser destacados na análise realizada do QVP são:

- Existe uma indicação para que seja feita a sinergia entre projetos, por outro lado esta interação não ocorre de maneira estruturada, fazendo com que ela ocorra com maior intensidade dentro de determinadas fases do projeto e com menor em outras. Esta falta de interação ocorre principalmente nas fases em que a Engenharia de Manufatura deveria fazer parte do critério de tomada de decisão sobre qual diretriz de desenvolvimento de produto a empresa adotará, planejando assim o futuro cenário industrial da companhia com uma exatidão bem maior que nos dias de hoje;
- Falta de análise estruturada de análise de portfólio de projetos, as quais poderiam auxiliar na priorização de recursos para execução e principalmente no planejamento fabril em visão de logo prazo.

- Não existe personalização prevista para cada projeto dentro do QVP, fazendo com que projetos “especiais”, especificamente os projetos de manufatura, não sejam gerenciados de uma forma estruturada dentro da companhia. De forma prática, o que realmente acontece é a falta de suporte das áreas envolvidas, face a demanda alta dos recursos e a falta de planejamento para execução. Tais problemas são claramente explícitas nas áreas de apoio da manufatura, como Manutenção, Logística, Planejamento materiais e qualidade. As áreas suporte da companhia também acabam não atendendo a contento a demanda do projeto e entre elas, podemos citar, Compras e Marketing.
- Os aspectos técnicos e de gestão do projeto são considerados na revisão de fases, conforme já mostrado no início deste item quando foram descritos os critérios de passagem de fase.

O processo de desenvolvimento de novos produtos é o mesmo adotado pela matriz nos Estados Unidos, mas é importante ressaltar que foram realizadas modificações para adequação à estrutura organizacional adotada no Brasil. A estrutura de fases e gates não foi modificada, isto é, o número de fases e gates e seus objetivos permaneceram os mesmos. Porém o número de entregáveis por área funcional e conseqüentemente o número de entregáveis total do processo foi diminuído em 308%, conforme mostrado na tabela 5.

Tabela 5: Comparativo do número de entregáveis por área funcional

Área funcional	QVP Matriz	QVP Brasil
Gerenciamento de Programas	26	13
Finanças	09	05
Mercado	18	12
Engenharia do Produto	59	39
Manufatura	33	17
Compras	13	09
Qualidade	15	08
Pós-vendas	06	05
Tecnologia da Informação	07	05
Qualidade de Fornecedores	08	07
Total	194	120

O número reduzido de entregáveis mostrado pode trazer conseqüências benéficas, reduzindo o tempo de execução do processo como um todo, mas pode trazer vulnerabilidade se houve redução no controle do processo. Durante toda a execução desta dissertação, muitas pessoas envolvidas no processo de desenvolvimento de produto consideraram a redução benéfica para a agilidade do processo, porém não foram encontradas informações que comprovassem esta afirmação.

Os objetivos principais das modificações, inclusive a redução do número de entregáveis, realizadas até o momento tiveram os seguintes objetivos:

- Manutenção de práticas utilizadas localmente, as quais são benéficas para o desenvolvimento. Dentre as práticas, pode ser mencionada a reunião de revisão de projeto – Design Review, as quais são muito proveitosas para as áreas de compras e manufatura da empresa em questão;
- Nacionalizar o processo de desenvolvimento de produtos de acordo com as responsabilidades de cada área. No Brasil, como os números de projetos, tanto quanto os volumes produzidos são menores, muitas áreas

acumulam funções, as quais na matriz americana são algumas vezes desempenhadas por dois ou três departamentos distintos;

Conforme mencionado anteriormente a ponto de verificação dos entregáveis acontece na reunião de Gate como pode-se verificar na figura 14. Nesta reunião é apresentado um contrato de passagem de fase seguindo a estrutura abaixo.

atividades de cada uma das fases. A identificação acontece por meio de cores: Verde, Amarelo e Vermelho que representam o atendimento completo aos requisitos, projeto não atende os requisitos mais existe um plano para recuperação e o projeto não atende as expectativas iniciais e não existe um plano de recuperação respectivamente. Além disso, as datas das próximas apresentações e os resultados financeiros do projeto são colocadas logo abaixo.

Concluindo a análise dos itens descritos, os membros da reunião, neste caso a diretoria e o presidente da empresa decidem pelo seguimento ou não do projeto e registram sua assinatura.

3.2. Estrutura Organizacional

A empresa em questão tem o corpo diretivo formado por um presidente e oito diretores conforme detalhado na figura 15.



Figura 15: Estrutura organizacional da empresa em questão

As responsabilidades de cada diretoria podem ser definidas como:

- Vendas: Responsável pela venda do produto, estudos de demanda do mercado e planejamento estratégico;
- Peças & Serviços: Responsável pela distribuição de peças de reposição no mercado e administração dos distribuidores de peças;
- Engenharia de Produto: Responsável pelo desenvolvimento de produtos e pelo suporte a outras áreas nos assuntos relacionados ao produto;
- Manufatura: Responsável pelo planejamento de materiais & logística, engenharia de manufatura e produção;
- Qualidade: Responsável pelo sistema da qualidade, planejamento avançado da qualidade em projetos, atendimento a defeitos 0km e assistência ao cliente;
- Finanças: Responsável pela gestão das finanças da empresa tão quanto o departamento jurídico;
- Recursos Humanos: Responsável pela estrutura de cargos & salários, contratação, negociações com sindicato, segurança do trabalho / patrimonial e treinamento e desenvolvimento de pessoas.

Todas as diretorias fazem parte do desenvolvimento de produtos, porém umas com maior intensidade que outras. Alguns diretores são suporte ao desenvolvimento, não atuando diretamente, apenas suportando o desenvolvimento, como no caso da diretoria de Recursos Humanos.

A Figura 16 detalha a participação ativa de cada uma das áreas dentro do processo de desenvolvimento de produtos com base na divisão de Gates discutida anteriormente.



Figura 16: Participação por área durante o desenvolvimento do projeto na empresa em questão.

O início do processo de desenvolvimento de novos produtos é de responsabilidade a equipe de Vendas, que realiza os primeiros contatos com os clientes, na grande maioria os OEMs ou as conhecidas montadoras de veículos, em busca de novos negócios, sendo responsável pela condução deste negócio até a submissão do gate 2. Após esta submissão a participação da área de Vendas, fica restrita a discussões específicas com o cliente para possíveis negociações de alteração nas condições comerciais do acordo com o cliente, as quais ficam restritas a volumes, alteração de preço e mudanças de escopo. Quase que na totalidade dos casos, o desenvolvimento é suportado pela Engenharia de Produto, principalmente na definição do escopo de fornecimento e durante a definição técnica do produto. Quando isso não ocorre a engenharia inicia sua participação a partir do gate 0. A diretoria de finanças inicia sua participação antes do gate 2 para realização da análise de viabilidade financeira e permanece no acompanhamento dos investimentos e evolução dos indicadores financeiros até o final do projeto. Ao final da fase 2, a área de gerenciamento de programas inicia sua participação para realização do planejamento

do projeto. A partir do gate 2 a área de gerenciamento de programas assume o lugar da área de vendas na liderança da equipe de trabalho. O time de manufatura inicia sua participação durante a fase 3 onde são definidos os projetos dos componentes do produto, porém em muitos dos casos a Engenharia de Manufatura suporta novos desenvolvimentos, suportando a Engenharia de Produto na aplicação de técnicas DFA e DFM na fase de conceito de uma forma não sistêmica ou seja apenas aplicando-as em sistemas críticos ou nos sistemas identificados pela manufatura. Compras e Qualidade entram no final da fase 4, neste momento o projeto do produto deve ser definido e a interação com os fornecedores é conduzida em conjunto por Compras e Engenharia do Produto. Da mesma forma, os parâmetros de qualidade interna e dos fornecedores são definidos e implementados pela área da Qualidade. Peças e Serviços inicia sua participação somente na fase 6. Quando os canais distribuição de peças são definidos e implementados, quando existe um mercado totalmente novo a ser atendido o envolvimento da diretoria de Peças e Serviços pode ser antecipado.

Durante o diagnóstico realizado, foi possível observar que muitas das decisões tomadas na Manufatura, assumem como dados de entrada para planejamento das operações fabris a longo prazo, dados recebidos da Engenharia de Produto. Não existe uma sistemática dedicada para troca das informações antes do Gate 3. Com isso, quando dados são providos para Engenharia de Manufatura, não existe uma gestão do portfólio de projetos, o que resulta em alguns casos em duplicação de recursos e / ou previsão de investimentos que poderiam levar em consideração a sinergia das operações de manufatura. Como solução para o problema levantado durante o diagnóstico da estrutura de desenvolvimento do produto, é colocando como mandatório a análise da Manufatura na fase conceitual do produto desde Fase 2 e não na Fase 3 conforme mencionado na figura 16.

3.2.1. Estrutura Organizacional da Engenharia de Produto

A diretoria de Engenharia do Produto adota uma estrutura matricial para o gerenciamento de projetos. As áreas funcionais desta estrutura são: Projeto Motor, Performance & Emissões, Desenvolvimento do Produto e Eletrônica e Controles. Já as áreas de gerenciamento dos projetos são: Engenharia Avançada e Plataforma de Clientes. A figura 17 mostra a estrutura organizacional da diretoria de Engenharia do Produto.

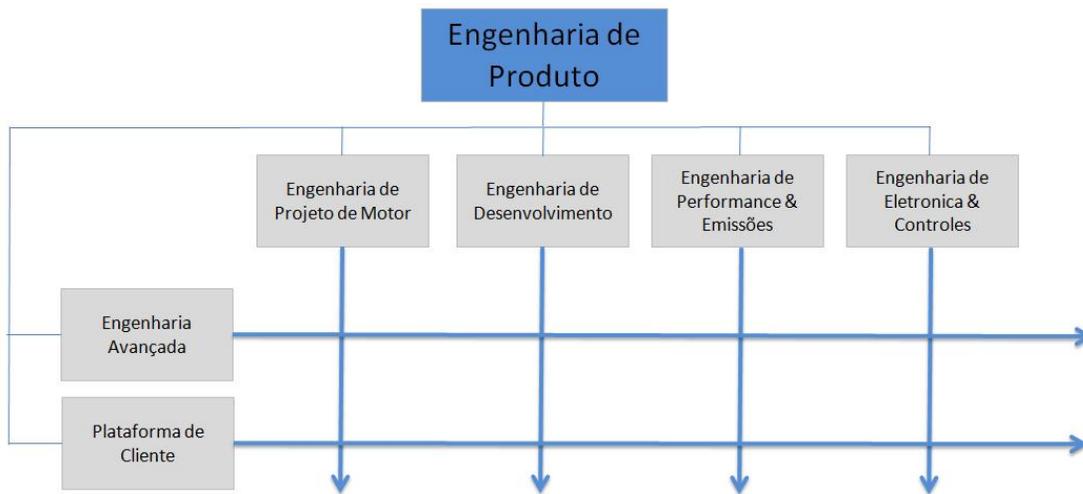


Figura 17: Estrutura organizacional da engenharia de produto

Conforme mencionado anteriormente, a Engenharia do Produto adota uma estrutura matricial para o gerenciamento de projetos, sendo que a Engenharia Avançada tem responsabilidade de criação de novos produtos do portfólio da empresa. Além disso, esta área tem como escopo de responsabilidade o desenvolvimento e gerenciamento de projetos de motor básico. No caso da Plataforma de clientes, o escopo de trabalho é bem similar, porém com a responsabilidade nos projetos de aplicação com interface direta com o cliente final.

Os projetos de motor básico e projeto de aplicação são divididos da seguinte forma:

Projeto de motor básico: são projetos em que existe a criação de um novo motor, ou seja, são desenvolvidos componentes básicos do produto tais como: sistema estrutural, distribuição e sistema de combustível. Usualmente estes projetos são realizados sem a existência de um cliente específico, eles visam um mercado identificado pela empresa ou potenciais clientes;

Projeto de aplicação: são os projetos que são desenvolvidos para aplicar produto básico em um veículo ou equipamento de um cliente. Os componentes criados nestes projetos limitam-se à interface do motor com o veículo, tais como sistema de acionamento auxiliar (alternador, compressor de ar condicionado e bomba hidráulica), suportes dos componentes de acionamento auxiliar, suportes dos coxins e coletores;

Durante a avaliação da estrutura proposta pela engenharia de produto, foi possível concluir que a estrutura matricial com a nomeação de times multifuncionais de projeto traz ótimos resultados no fluxo de informações ao cliente e internamente durante o desenvolvimento do produto. Por outro lado, foi possível concluir que este tipo de estrutura depende diretamente da performance e controle do projeto por parte do líder de projeto. A análise da eficiência foi realizada com base na definição de monitorar e controlar o trabalho do projeto (PMI, 2004): Processo necessário para coletar, medir e disseminar informações sobre o desempenho e avaliar as medições e tendências para efetuar melhorias no processo. Além disso, é de responsabilidade do líder de projeto, o monitoramento de riscos para garantir que os riscos sejam identificados a tempo, que o andamento seja relatado e que os planos de risco adequados estejam sendo executados.

Para a integração de todas as áreas no projeto, a área de Gerenciamento de Programas, assume a responsabilidade de coordenação do projeto desde sua aprovação até o seu início de produção, passando pelo gerenciamento da compra de peças protótipos, compra de peças definitivas, submissão de PAPP, montagem de protótipos e plano de treinamento nos clientes (ISO/TS16949, 2002).

3.2.2. Estrutura Organizacional da Manufatura

Conforme abordagem anterior no desenvolvimento desta dissertação , a manufatura tem um envolvimento nos projetos da empresa em questão a partir da Fase 3, porém em muitos casos, o envolvimento ocorre em fases anteriores de uma forma não estruturada, face ao número de interações com produtos atuais em produção. Toda a interação entre o time de Gerenciamento de Programas e Engenharia de Produto é feita através do departamento de Engenharia de Manufatura conforme detalhado na figura 17.

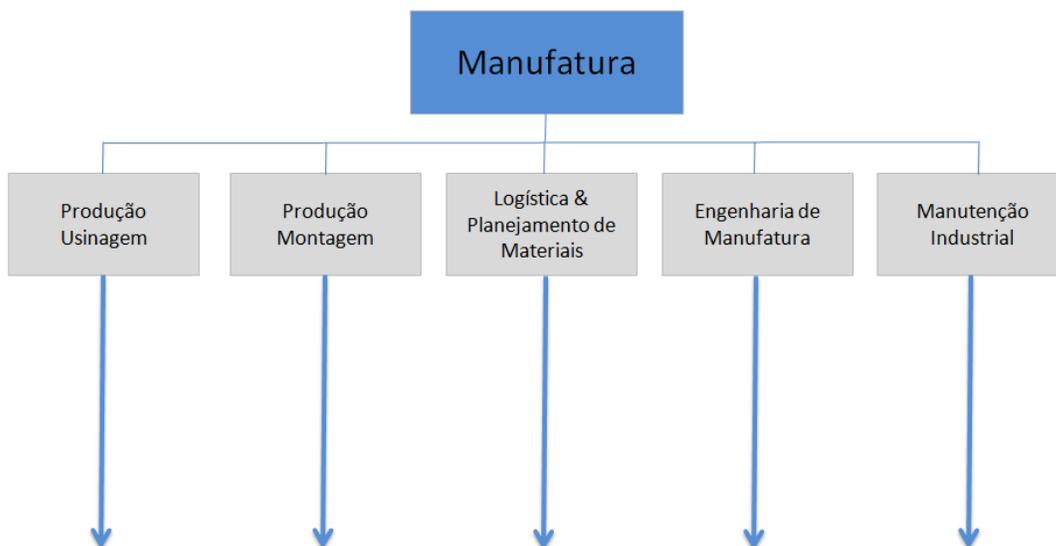


Figura 18: Estrutura organizacional da manufatura

As responsabilidades da Diretoria de Manufatura são divididas conforme abaixo:

Produção Usinagem – Responsável por gerir todas as atividades de usinagem de blocos de motores, cabeçotes, bielas, caixa de volantes, caixa de engrenagens, cárteres estruturais e diversas peças miscelâneas. Além de se responsabilizar pela produção dos volumes e da qualidade das peças necessárias para atendimento a montagem. Esta área ainda tem um corpo técnico composto de Engenheiros e Técnicos que são responsáveis pela gestão da documentação de processo, PFMEA, Planos de Controle e desenvolvimento de ferramentas.

Produção Montagem – Responsável por gerir todas as operações de Montagem dos motores, controlando as quantidades e a qualidade do produto final enviado ao cliente. Assim como na Usinagem, este departamento é composto por um corpo técnico formado por Engenheiros e Técnicos, os quais são responsáveis pela gestão da documentação de processo, PFMEA, Planos de Controle e desenvolvimentos de ferramentas & dispositivos de montagem.

Engenharia de Manufatura – Responsável pela implementação de novos produtos dentro da manufatura, projetos de aumento de capacidade, sinergia na manufatura de produtos e gestão de portfólio de produtos dentro do ambiente fabril da empresa em questão. Como visto anteriormente, a grande maioria dos novos desenvolvimentos são projetos de aplicação de um produto corrente a um novo cliente, porém existem novos desenvolvimentos que demandam uma mudança drástica nos produtos em produção atualmente. Estes exemplos vêm se apresentando com uma maior frequência nos últimos três anos. O aumento desta frequência está diretamente

ligado a mudança da legislação de poluentes discutidas no desenvolvimento desta dissertação.

Planejamento & Logística – Responsável pelo planejamento de materiais, programação das linhas de usinagens internas e toda movimentação de materiais & embalagem relacionadas a operação. Além destas atividades de gestão, a área de logística é responsável por gerir os custos logísticos de recebimento de matérias e entrega de produtos prontos.

Manutenção – Responsável por toda a operação de manutenção preventiva e corretiva de todas as instalações industriais. Além da operação de manutenção, a área de manutenção é responsável pelo planejamento das manutenções preventivas baseadas nos estudos de confiabilidade.

As áreas produtivas sob responsabilidade da Manufatura, Operações de Usinagem e Operações de Montagem & Teste de motores, estão divididas pelo tipo de operação. A intenção da diretoria da Manufatura com este tipo de divisão é de aumentar o foco em resultados operacionais, face a demanda de trabalho que estas áreas geram aos seus respectivos gestores. Durante o diagnóstico realizado durante a pesquisa, foi possível observar que existe um grande foco a operação e toda e qualquer atividade de desenvolvimento de projetos fica a cargo da Engenharia de Manufatura.

3.2.3. Problemas detectados no desenvolvimento de projetos na Manufatura

O desenvolvimento de projetos de manufatura é liderado pela Engenharia de Manufatura. Como não existem responsabilidades bem definidas, exemplificando onde começam ou terminam as responsabilidades de cada departamento, muitas vezes a Engenharia de Manufatura acaba assumindo uma carga de trabalho maior que a atual

responsabilidade ou somente fazendo menos que a expectativa inicial definida no escopo do projeto.

Durante o diagnóstico realizado durante o desenvolvimento deste trabalho, foi possível observar que grande parte destes problemas ocorre devido à ausência de um time multifuncional dentro da Manufatura, integrando o projeto a todas as áreas. Conforme mencionado anteriormente, a Engenharia de Produto trabalha desta forma, fazendo com o gerenciamento de recursos, cronograma e custo se torne bem mais preciso face ao envolvimento maior dos integrantes do time multifuncional.

Analisando em detalhes as pessoas membro da estrutura da Manufatura da empresa em questão, visualizamos a ausência da figura do Gerente de Projetos ou Coordenador de Projeto, o qual tem como responsabilidade principal, gerir o time multifuncional de determinado projeto, independentemente da gerência a qual as pessoas estão ligadas, como proposto em literaturas especializadas em Gerenciamento de Projetos (PMI, 2004).

A proposta para que a Engenharia de Manufatura obtenha um resultado melhor nas entregas necessárias dentro das áreas operacionais dependentes, Usinagem, Montagem e Logística, é agregando responsabilidade da área de Engenharia de Manufatura. Além de executar e desenvolver projetos de manufatura, a Engenharia de Manufatura deve somar as atividades de gerência do projeto como um todo. Sob a gerência de engenharia de manufatura, ficariam os engenheiros responsáveis pelo desenvolvimento de novos projetos dentro das áreas de manufatura e líderes de projetos, os quais têm sob sua responsabilidade a coordenação do cronograma do projeto, fluxo de caixa e controle de investimentos, gestão de recursos do projeto, coordenação da implementação, *runoff* e *tryouts* de equipamentos junto ao engenheiro

de manufatura, engenheiros de processo, técnicos e analistas membros dos times. Esta estrutura está descrita na figura 19.

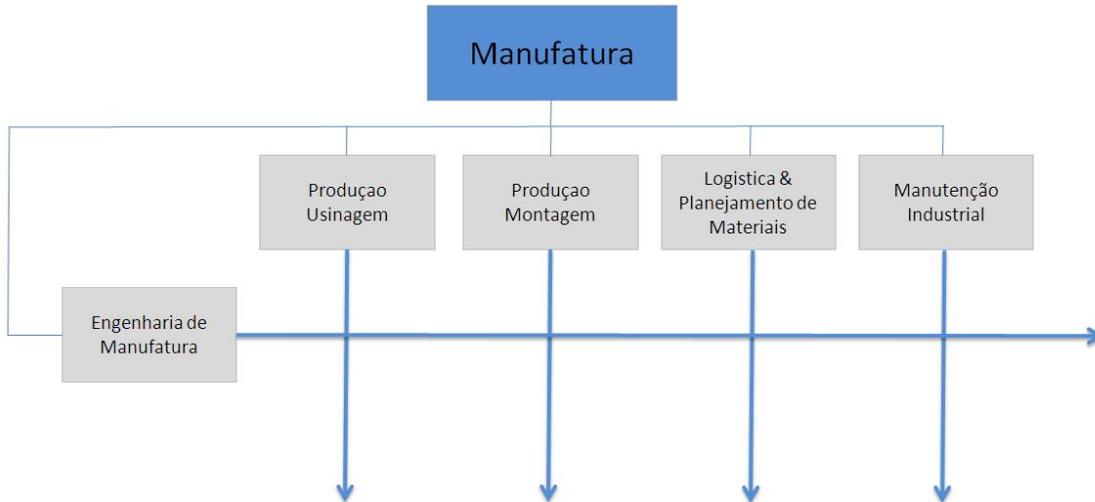


Figura 19: Proposta de estrutura organizacional da engenharia de manufatura

A estrutura na figura 19 mencionada, a partir de formação de times multifuncionais, traz resultados positivos no sentido de planejamento de recursos e capacidade para execução de projetos, porém quando o número de projetos começa a aumentar em larga escala, inicia-se o problema de conflitos de interesse sob a mesma gestão. Exemplificando a problema, pode-se citar o uso de recursos dos Gerentes de Projeto por ordem do gestor da área, para determinada atividade de engenharia na incidência de projetos de grande magnitude ou para os casos em que o número de projetos em paralelo aumentar substancialmente.

Nestes casos, torna-se inevitável a criação de um departamento de PMO – *Project Management Office*, onde as pessoas que estarão alocadas, ficarão com a responsabilidade de gerir o projeto dentro de todas as áreas da manufatura, inclusive na Engenharia de Manufatura, a qual continuaria responsável pelos desenvolvimentos

juntamente com as áreas de Engenharia de Produto. Esta estrutura está descrita na figura 20.

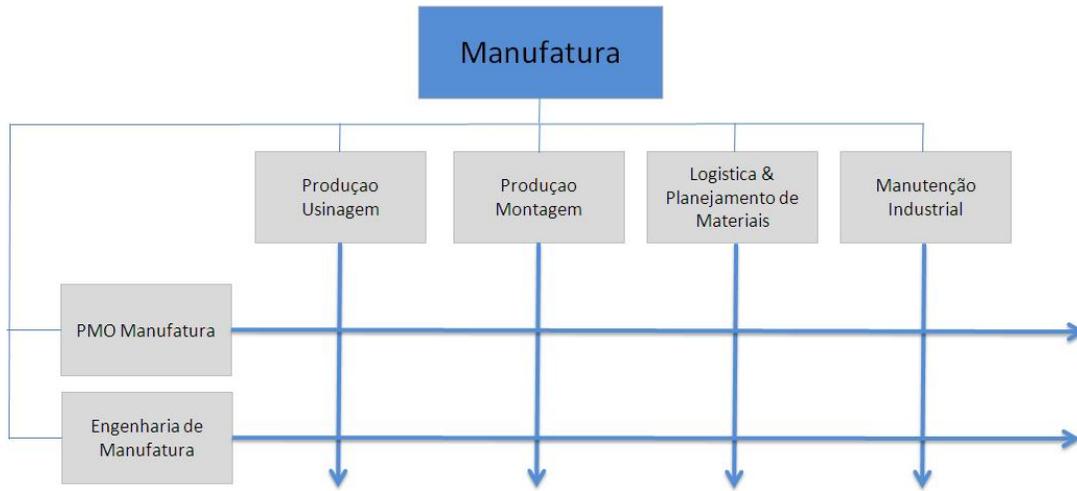


Figura 20: Proposta de estrutura organizacional da engenharia de manufatura

4. Estudo de caso – Projeto de uma linha de usinagem de bloco de motor

4.1. Premissas de projeto de uma linha de usinagem de blocos de motores de Ferro Fundido Vermicular

O projeto base de estudo da teoria de gerenciamento de ciclo de vida de projeto de manufatura é uma linha de usinagem desenvolvida no ano de 2008 em um fabricante de motores diesel. No instante do desenvolvimento do projeto, os engenheiros e técnicos desta empresa tinham definido apenas o design do produto - figura 22, a ser manufaturado, os volumes definidos pelo cliente externo, neste caso específico, o responsável pela montagem dos motores. Os volumes informados naquele instante eram definidos com base em estudos mercadológicos e prospecções feitas com base na aceitação do produto final a ser vendido, neste caso específico, o mercado de caminhões americano.

O crescimento dos volumes a ser produzidos naquele instante, foram definidos conforme indicado na Figura 21:

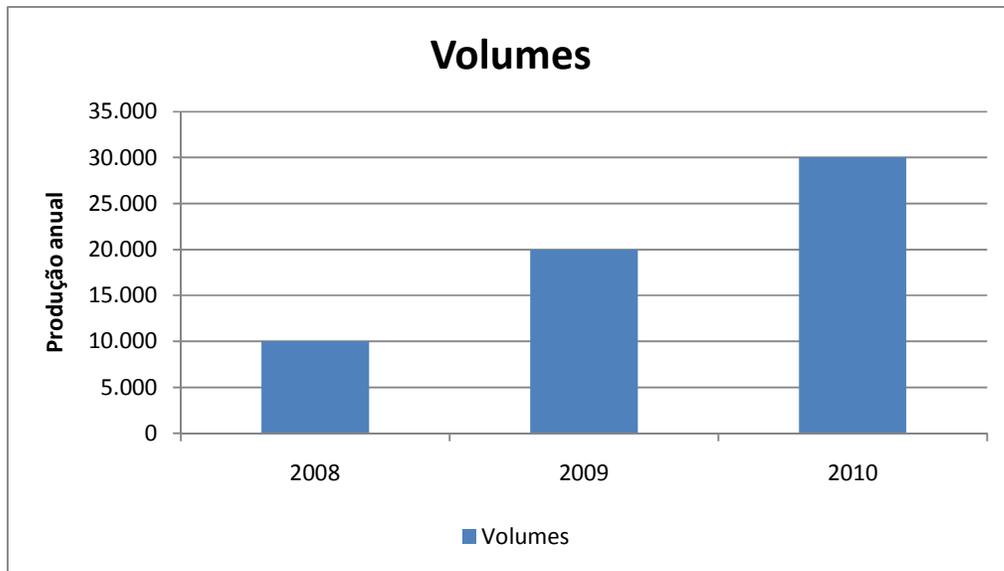


Figura 21: Dados de entrada para projeto da linha de usinagem de blocos de motores

Com base nos volumes definidos nos estudos mercadológicos e baseado no potencial ganho de mercado, iniciou-se a pesquisa e o desenvolvimento por soluções que tinham como premissa de projeto da nova linha produtiva:

- Design do produto validado por outro fabricante de motores, sem nenhuma possibilidade de alteração de qualquer característica;
- Ausência dos estudos de GD&T – Geometric Dimension & Tolerance
- Projeto de manufatura que atenda as expectativas de qualidade propostas em desenho;
- Maior flexibilidade possível;
- Menor investimento total em equipamentos;
- Menor investimento por step de crescimento;
- Maior rentabilidade no preço de venda do produto:
- Menor número de operadores trabalhando nesta linha;

- Redução máxima do consumo de perecíveis na fabricação (ferramentas de corte);
- Áreas de apoio a produção com staff reduzido
- Redução do inventário em produção
- Menor tempo parado entre o SOP de cada umas das fases;

Levando em consideração as premissas definidas acima, cada uma delas gerou um novo requisito de projeto, os quais geraram conflitos no desenvolvimento do projeto, não sendo possível o pleno atendimento a todas as premissas.



Figura 22: Ilustração do bloco de motor a ser manufaturado

Utilizando como base as premissas de projeto mencionadas acima, diversas soluções técnicas foram propostas, tanto para a usinagem em si, como em

configurações, modelos e tipos de equipamentos envolvidos. O estudo de todos os possíveis cenários, de início de operação ao funcionamento em capacidade total, serão parte deste trabalho, tão quanto uma proposta de matriz de decisão, as quais levam em conta os fatores:

- Qualidade final do produto (índices de CP; CPk);
- Flexibilidade para futuras mudanças (mudanças no produto em produção e mudança total de produto a ser produzido);
- Investimento total;
- Melhor fluxo de caixa ao longo de 4 anos de projeto;
- Custos operacionais;
- Manutenibilidade;
- Ciclo de vida da linha de manufatura projetada;

4.2. Projetos desenvolvidos para a usinagem do bloco

Como este projeto não foi desenvolvido seguindo a seqüência de desenvolvimento discutida anteriormente pela empresa em questão (estrutura de Gates), após o recebimento dos dados do projeto do produto – desenhos e normas, iniciou-se a busca por parceiros aptos a desenvolver um projeto do processo de manufatura mais confiável possível sob o critério qualidade e ao mesmo tempo se responsabilizasse pelo fornecimento de máquinas de usinagem e equipamentos atendendo as premissas de prazo e custos obtidas. Simultaneamente o time responsável pelo projeto iniciou um projeto do processo de usinagem com objetivo de validar as propostas que viriam futuramente.

Durante a pesquisa realizada no mercado automotivo nas empresas de mesmo segmento, utilizando a ferramenta de *benchmark*, foi possível concluir que trata-se de uma prática comum entre as Engenharias de Manufatura das empresas automotivas, devido a impossibilidade de alocação de recursos dedicados para este tipo de desenvolvimento internamente.

A análise de tempo de usinagem começa pela definição das referências de usinagem e análises da quantidade de sobre-metal entre a peça usinada. A partir disso, inicia-se uma estimativa das ferramentas a serem utilizadas, na sua grande maioria, operações de fresamento e em uma quantidade menor as operações de furação e mandrilamento. Todos os cálculos são feitos com base em valores de Velocidade de corte – Vc em todos os eixos, aceleração de todos os eixos e velocidade G0, conhecidos como tempos mortos de máquinas conhecidas do mercado.

A partir do estudo operação por operação, pode-se estabelecer o valor total do tempo de usinagem para usinagem completa do bloco. A partir deste valor é possível estabelecer o número total de máquinas necessária no processo.

$$\text{Número Máquinas} = \frac{\text{Tempo total de Usinagem [min]}}{\text{Cadência [min]}}$$

$$\text{Cadência [min]} = \frac{\text{Minutos dia [min]} \times \text{Dias no ano}}{\text{Volumes anuais prospectados}} \times \text{Eficiência [85\%]}$$

A eficiência de 85% é baseada nos critérios de O.E.E. - *Overall Equipment Effectiveness*, métrica hierárquica a qual avalia e indica o quão efetivo a operação de manufatura é utilizada conforme mencionado na revisão bibliográfica desta dissertação no capítulo 3.4.

A definição do número de máquinas necessárias no processo segue uma análise de posição da peça dentro da máquina e obviamente que seguindo um critério de arredondamento face a impossibilidade de utilizarmos quantidade fracionadas de equipamentos.

O dimensionamento e estimativa dos tempos de usinagem por operação que culmina no número final de máquinas a ser utilizados no processo, tão quanto os processos de balanceamento das operações na linha de usinagem estão descritos nas tabelas 6 e 7

Tabela 6: Planilha de cálculo de tempo de usinagem para validação de propostas.

Referência do desenho	Descrição da operação	Descrição da Ferramenta	Ø (mm)	VC (m/min)	n (rpm)	Avc/faca (mm)	Qtd. Facas	Avc Corte (mm/min)	L (mm)	Aproximação (mm)	Qtd. L	Tempo de Corte (min)	Trocas Rápida "1"; Lenta "2"; Nenhuma "0".	Troca Ferramenta (seg)
2103 to 2137	To drill Ø6,8 X 20mm	Drill Ø6,8 (Carbide) with chanfer	6,8	80	3745	0,20	1	749	20,0	3,0	29	0,89	1	4,1
2103 to 2137	To thread M8 X 16mm	Tap M8	8,0	40	1592	1,25	1	1989	32,0	5,0	29	0,54	2	6,6
2159 2160 2157 2155	To drill Ø19,5 X 24mm	Drill Ø19,5 (Carbide) with chanfer	19,5	80	1306	0,25	1	326	24	3	4	0,33	1	4,1
2158 2156	To bore Ø20H7 X 18mm	Bore Ø20H7 (Carbide insert)	20,0	120	1910	0,20	1	382	18,0	3,0	2	0,11	1	4,1
3920 4920	To endmill Ø25 X 15mm	Endmill Ø25 (Carbide)	25,0	60	764	0,06	6	275	100,0	3,0	2	0,75	1	4,1
2921 2901 until 2914	To mill Ø100mm - ROUGHING	Milling Ø100mm (Carbide insert)	100,0	180	573	0,20	8	917	3638,0	0,0	2	7,94	1	4,1
2921 2901 until 2914	To mill Ø100mm - FINISHING	Milling Ø100mm (Carbide insert)	100,0	150	477	0,17	10	812	3638,0	0,0	1	4,48	1	4,1
1133 until 1146	To endmill Ø31,7 X ~20mm (through hole)	Endmill Ø31,7 (Carbide)	31,7	60	602	0,06	8	289	20,0	3,0	14	1,11	1	4,1
1133 until 1146	To bore Ø32H9 X 15mm	Bore Ø32H9 (Carbide insert)	32,0	120	1194	0,20	1	239	15,0	3,0	14	1,06	1	4,1
1901	To mill Ø100mm - ROUGHING	Milling Ø100mm (Carbide insert)	100,0	180	573	0,20	8	917	2111,0	0,0	2	4,61	0	0
1150	To drill Ø20 X 20mm (through hole)	Drill Ø20 (Carbide)	20,0	80	1273	0,25	1	318	20,0	3,0	1	0,07	1	4,1
1101 until 1106	To mill Ø125 (Finished Ø145+0,4mm X 88mm eccentric diameter)	Long edge cutter Ø125 (Carbide insert)	125,0	120	306	0,12	12	440	132,6	3,0	6	1,85	2	6,6
1147 and 1148	To drill Ø7,5 X ~12mm	Drill Ø7,5 (Carbide) with chanfer	7,5	80	3395	0,20	1	679	12,0	3,0	2	0,04	1	4,1
	Pallet change													
Sub Total (cutting												23,78 min		54 seg

Tabela 7: Resumo das operações planejadas para validação das propostas dos

fornecedores

Op.	Description	Reference	Equipment	Illustrated position
10	-Rough milling, drilling and tapping of top (boring) and bottom faces, long drill; -Rough boring of cylinder (only eccentric diameter); -Rough milling of index on top face for cylinder head; - Finish milling of oil pan face and index holes (index references of block).	- Right side with 3 Pads to location, and 4 spot faces to level.	Horizontal Machinig Center	
20	-Rough bearing caps, prepare to cracking process; -Milling side caps number 1,2,6 e 7; -Rough sides of adjustment axial cap (Number 6) "end play"; -Chanfer for all caps.	- Oil pan face and index holes.	Crankshaft rough boring machine (with feedout)	
30	-Rough miling, drilling and tapping right, left, front and rear sides; -Rough boring gear holes of the front and rear faces.	- Oil pan face and index holes.	Horizontal Machinig Center	
40	-Drilling and tapping of the top face; 26 X Ø16/Ø19 x 100/60mm 26 X M18x2 x 90mm -Drilling and tapping of the bottom face; 14 X Ø16/Ø19 x 177,5/122,5mm 14 X M18x2 x 167,5mm	- Right side with 3 Pads to location, and 4 spot faces to level.	Cylinder head and oil pan multiple drilling and tapping machine	
50	-Rough boring of cylinder (all diameters exempt eccentric diameter); -Rough boring of gooves for liners o' rings.	- Oil pan face and index holes.	Cylinder Rough Boaring Machine	
60	-Rough boring of gooves for liners o' rings.	- Cylinder bores.	Radial drilling machine (same of MWM - Intenational blocks lines)	
70	-Pre-washing	- Top and bottom faces.	Wash machine	
80	-Engrave of block and bearing caps (see drawing 51.01102-6436); -Bearing caps fracture machine.	- Right side with 3 Pads to location, and 4 spot faces to level.	Special machine for cracking	
90	-Inclined holes.	- Oil pan face and index holes.	Horizontal Machinig Center (WITH NC TABLE AND HIGH PRESSURE COOLANT SYSTEM) OIL	
100	Air cleaning fracture area; Tightening of bearing caps.	- Top face	Nutrunner and Electronic Visual System	
110	-Finish boring of bearing caps; -Finish sides of adjustment bearing cap (Number 6) "end play"; -Index on top face for cylinder head (same as MAN).	- Oil pan face and index holes.	Crankshaft finish boring machine (with feedout)	

120	-Finish milling of top face;	- Oil pan face and finished bearing caps.	Combustion face milling machine	
130	-Finish boring of cylinder;	- Oil pan face and finished bearing caps.	Cylinder finish boring machine (with feedout)	
140	-Finish milling of front and rear faces; -Finish boring of all gear holes, guide of pumps in the rear face; -Milling precise face and boring in the left side (compressor)	- Oil pan face and index holes. - Touch probe system	Horizontal Machinig Center	
150	-Finish boring of all gear holes, guide of pumps, front and rear faces. -Milling precise face and boring in the left side (high pressure pump)	- Oil pan face and index holes. - Touch probe system. (Device inclined 25°)	Horizontal Machinig Center	
160	-Pre-washing.	- Top and bottom faces.	Wash machine	
170	-Deburring; -Disassembly bearing caps and put on respective device for washing	- Top and bottom faces.	Manual operation Pneumatic nut runner	
180	-Final Washing and cooling the block.	- Top and bottom faces.	High pressure wash machine	
190	-Assembly of the bearing caps and pressing water plugs.	- Oil pan face and index holes.	Pneumatic nutrunner Manual adhesives to apply and plugs hydraulic pressing device	
200	-Leak Test of water galleries.	- Oil pan face and index holes.	Leak test machine	
210	-Check-List and VCI packing.	- Top and bottom faces.	Manual operation	

Dentre as possíveis soluções técnicas disponíveis para a manufatura da peça em questão, surgiu a necessidade de avaliar qual solução técnica trará maiores benefícios futuros nos seguintes quesitos: Qualidade (índices de CP e CPk), Investimento final e por fase de crescimento, flexibilidade e custo operacional.

Com base nos dados obtidos no estudo de processo de usinagem realizados pelos engenheiros da empresa em questão, são comparados com os números das propostas apresentadas. Os principais fatores de comparação são:

- Tempo total de usinagem do bloco do motor;
- Números de máquinas envolvidos no processo;
- Posicionamento do bloco do motor nos dispositivos de usinagem;
- Velocidades de corte adotadas;
- Avanços por faca adotadas;
- Fluxo de abastecimento de peças no processo produtivo;
- Layout de operação planejado;
- Output da linha baseado em uma produção seqüenciada de 100 unidades;
- Validação de controle em processo (ISO/TS16949, 2002)
- Índice Cp das 100 peças usinadas para certificação da qualidade das peças usinadas. Neste caso o critério de aceitação é $C_p = 2,0$ (ISO/TS16949, 2002);
- Atendimento as normas de segurança e saúde ocupacional;
- Manutenibilidade dos equipamentos;
- Logística interna de peças

A figura 23 é um dos documentos apresentados pelo potencial fornecedor, a qual será analisado pelos engenheiros conforme mencionado acima.

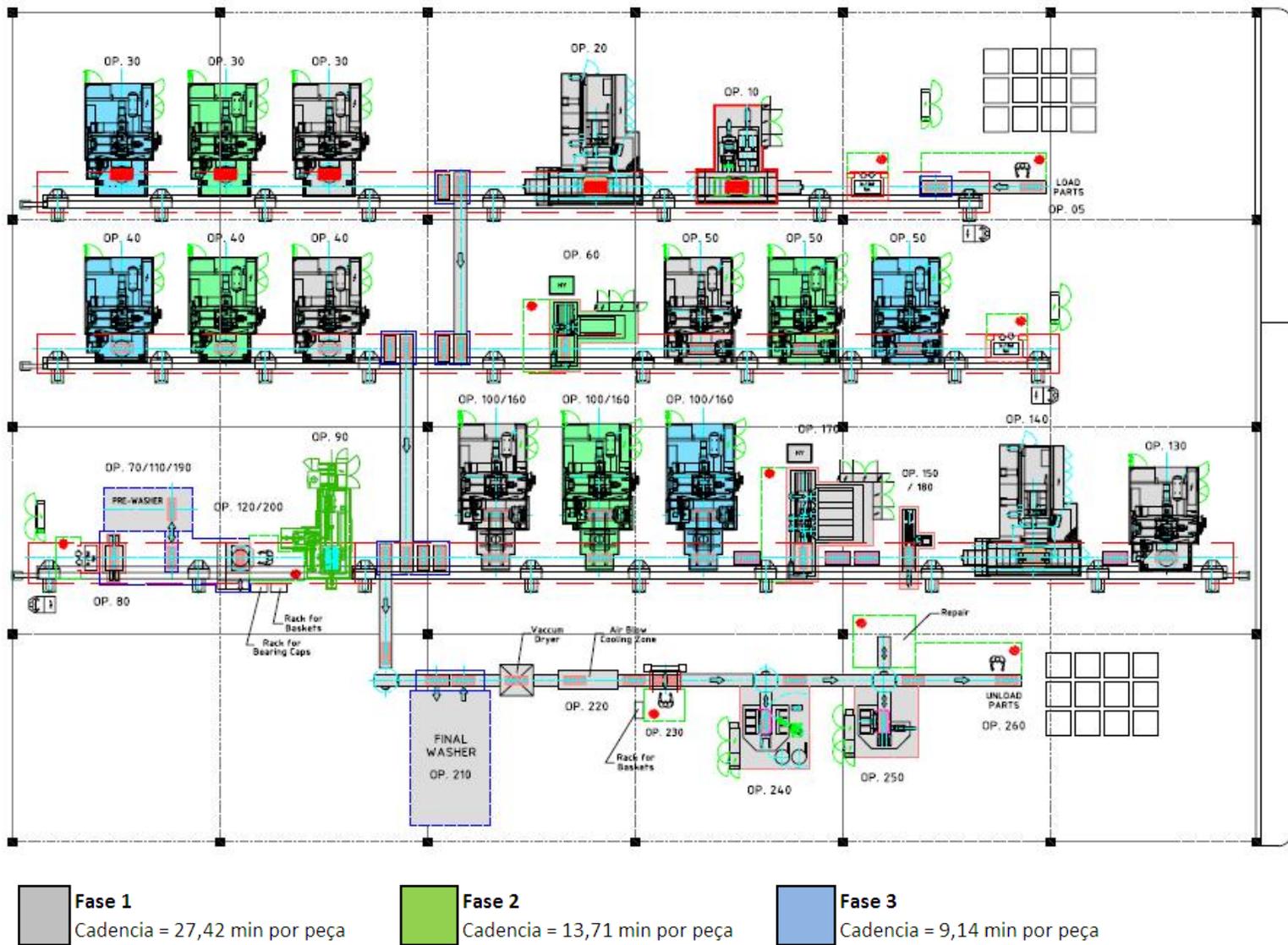


Figura 23: Layout proposto para a solução flexível para o processo de usinagem – Adaptado do projeto original

As propostas dos fabricantes de equipamentos apresentadas, mostravam tempo de execução entre 14 e 20 meses. Em projetos desta magnitude, o cronograma é parte mais complexa de negociação por parte do time técnico da Engenharia, pois nem sempre a melhor proposta técnica / comercial apresenta o melhor cronograma de execução.

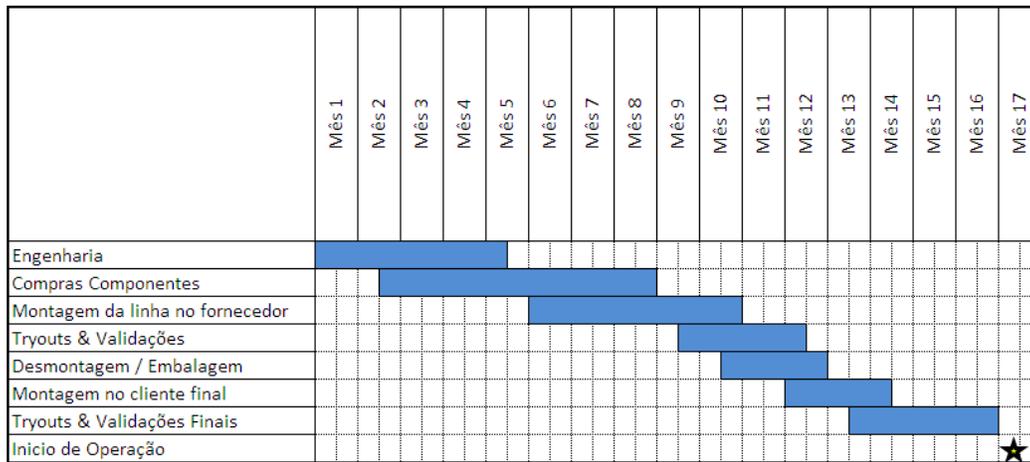


Figura 24: Cronograma de execução do projeto – Adaptado do projeto original

4.3. Análise e tomada de decisão

Dentre as possíveis soluções técnicas disponíveis para a manufatura da peça em questão, surge a necessidade de avalia-se qual solução técnica trará maiores benefícios futuros nos seguintes quesitos: Qualidade (índices de CP e CPk), Investimento final e por fase de crescimento, flexibilidade e custo operacional. Normalmente este processo é um dos mais morosos dentro do processo de engenharia da linha de manufatura, face a complexibilidade envolvida no dimensionamento dos equipamentos envolvidos no processo e o grau de automação envolvido.

Como um dos principais os objetivos desta dissertação, está a elaboração de uma matriz e conseqüentemente um formato, a qual considera grande parte dos itens em questão para uma decisão executiva, baseada na análise de decisão (CLEMEN, 1996).

Alguns modelos de processo decisório foram avaliados durante a avaliação do método adequado para um projeto de manufatura (CLEMEN, 1996). Dentre os principais podemos citar:

- Modelo de Simon;
- Modelo Militar;
- Modelo de Pesquisa Operacional;
- Modelo de Guilford;
- Modelo de Mintzberg;
- Modelo de Kepner e Tregoe.

Como o modelo mais objetivo, racional e simplificado dentre os modelos levantados é o modelo Kepner e Tregoe (CARVALHO, 2006), trata-se do modelo que será utilizado como referência devido ao fato da fase inicial de um projeto, como o exemplo apresentado no projeto de referencia, não prover os dados suficientes para criação de um cenário decisório utilizando metodologias matemáticas. Baseado nesta informação, o processo decisório se restringirá a uma metodologia, a qual considera comparativamente os respectivos resultados de propostas de projetos para uma linha de manufatura.

4.3.1. Cenário de tomada de decisão

Cada um dos requisitos colocados na matriz de decisão foram inseridos com base nos seguintes fatores e ponderações:

4.3.1.1. Investimento total no projeto

Conforme mencionado no desenvolvimento desta dissertação, o sucesso dos produtos de uma empresa no mercado está ligado à competitividade. Por outro lado, pode-se afirmar que um dos fatores diretamente ligados a competitividade no mercado são os custos agregados a um determinado tipo de produto, sendo ele em matéria prima e / ou custos de fabricação deste determinado produto ou até mesmo no investimento realizado até a entrada do produto em regime produtivo. Baseando-se nesta premissa, os engenheiros de manufatura das grandes corporações assumiram como requisito para desenvolvimento de um projeto, uma postura diferenciada da que foi adotado nas décadas passadas. Nos dias atuais é responsabilidade do engenheiro de manufatura pesquisar e desenvolver soluções técnicas que atendam a expectativa de qualidade, prazo e custo, investindo o mínimo possível.

Especificamente no estudo de caso em questão, o investimento total era condição para aprovação do projeto e conseqüentemente condição para obter a nomeação para ser o fornecedor de blocos de motor a corporação.

Independente da questão específica relacionada a investimento na nova linha de usinagem no estudo de caso, todas as empresas no mercado, neste estudo de caso especificamente as indústrias automobilísticas Ter 1, Tier 2 e Tier 3, as quais tem que tomar a decisão de seguir em frente com um projeto de uma nova linha produtiva, devem considerar o fator investimento como critério de sucesso ou em muitas vezes questão de sobrevivência.

4.3.1.2. Fluxo de caixa

O projeto desenvolvido para usinagem do bloco tem um cronograma desenvolvimento bastante extenso, e com isso, os pagamentos a serem realizados acabam se entendendo por longos períodos. O desenvolvimento de projetos de manufatura, seguem algumas regras de mercado para efetuar os pagamentos ao fornecedor escolhido durante o desenvolvimento. Todos os eventos abaixo descritos são parte de negociações comerciais entre ambos, porém com uma flexibilidade até certo ponto limitada por parte do vendedor (fornecedor que executa o projeto) e comprador (neste caso o cliente que está adquirindo uma nova linha de manufatura). Dentre os principais eventos atrelados aos pagamentos, destacam-se:

Evento 1 – Envio do pedido ao fornecedor e assinatura de contrato. Nesta fase, o fornecedor recebe 10% do total acordado para o desenvolvimento;

Evento 2 – Compra de peças importadas – Nos projetos em que usualmente tem-se uma quantidade de itens importados significativa em relação ao total investido, é realizado mais um pagamento de 10% do total acordado para o desenvolvimento mediante apresentação das *invoices* de importação;

Evento 3 – Tryout na planta do fornecedor – Nesta fase é realizado todos os testes de funcionamento da linha de usinagem dentro da planta do fornecedor onde são avaliados. Nesta fase, o fornecedor recebe mais 30% do total acordado para o desenvolvimento do projeto;

Evento 4 – Entrega física dos equipamentos. Nesta fase é realizado pagamento de mais 20% do total acordado para o desenvolvimento mediante a entrada das notas fiscais;

Evento 5 – Aprovação final dos equipamentos. A aprovação final dos equipamentos acontece no instante em que não existe nenhuma pendência por parte do fornecedor na linha de usinagem e todos os requisitos foram completados;

Para um projeto com tempo de desenvolvimento de 16 meses do início do desenvolvimento ao início de operação, a divisão acima descrita é um dos fatores mais importantes para que não ocorra o comprometimento do caixa da empresa antes que se inicie a venda de produtos, gerando a receita planejada inicialmente.

4.3.1.3. Custos operacionais

Os custos operacionais de uma linha de usinagem é um dos fatores que mais impactam no custo geral de operação. Neste caso diferentes soluções podem apresentar discrepâncias muito altas no que tange a utilização de áreas de apoio como preset de ferramentas, metrologia, custos de perçives.

Muitas destas análises são feitas em caráter estimativo face a falta de dados no instante do projeto. Dentre os exemplos práticos, podemos citar: Uma linha com máquinas flexíveis tem um número maior de equipamentos e com isso temos uma maior demanda de medição em máquinas de coordenadas - CMM, ou seja, para uma mesma operação de furação, a qual em uma máquina dedicada com diversos fusos é feita em apenas um equipamento, no caso dos equipamentos flexíveis, temos máquinas trabalhando em paralelo devido a utilização de um fuso único. O caso do preset de ferramentas, segue o mesmo conceito, no caso de maior número de máquinas, maior será o número de ferramentas back-up necessárias.

Nenhuma decisão relacionada a custos operacionais em um projeto de manufatura segue o mesmo escopo. Cada projeto segue uma linha de raciocínio e nenhuma decisão reduz custos, podendo em alguns casos, elas podem onerar os custos.

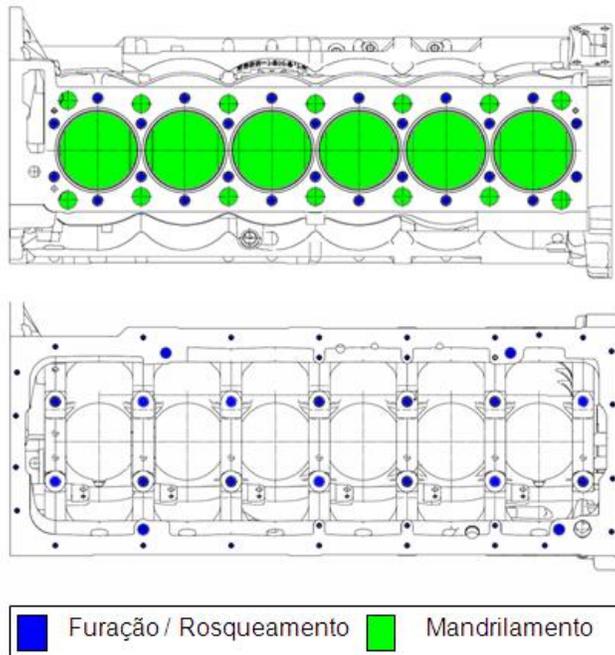


Figura 25: Detalhe das furações de fixação do cabeçote / mancais e cilindro – Adaptado do projeto original da linha de usinagem.

4.3.1.4. **Mantenabilidade**

Os índices MTTR – Mean Time To Repair e MTBF – Mean Time Between Failure são os indicadores utilizados pelo time da manutenção para avaliar tanto as condições de acesso e reparo dos equipamentos quanto a susceptibilidade dos equipamentos a falharem. Torna-se obvio que na fase de projeto, não existe capacidade de avaliação de todos os pontos, por falta de recursos e / ou por falta de detalhes de projeto, porém muitos problemas já ocorrentes de outras linhas de manufatura são levantados para a recorrência de problemas.

Durante a pesquisa, concluiu-se que não existe uma norma ou referência bibliográfica que estabelece valores de MTTR e MTBF específicos para determinados tipos de linhas de manufatura, todos os valores estabelecidos são definidos com base na carga de utilização que cada empresa determina para seus equipamentos. Durante

diagnóstico do fabricante de motores diesel, observou-se que os valores de MTTR e MTBF são 2 horas e 600 horas respectivamente.

A experiência mostra que a melhor forma de apresentar os problemas ao time multifuncional responsável pelo projeto de manufatura é por intermédio de figuras e / ou desenhos objetivos com os referidos problemas, conforme ilustrado na figura 26. Baseando-se em experiências passadas e pelo projeto referenciado no estudo de caso, trata-se do formato mais adequado para prover dados de entrada referenciando a Manutenibilidade do equipamento.

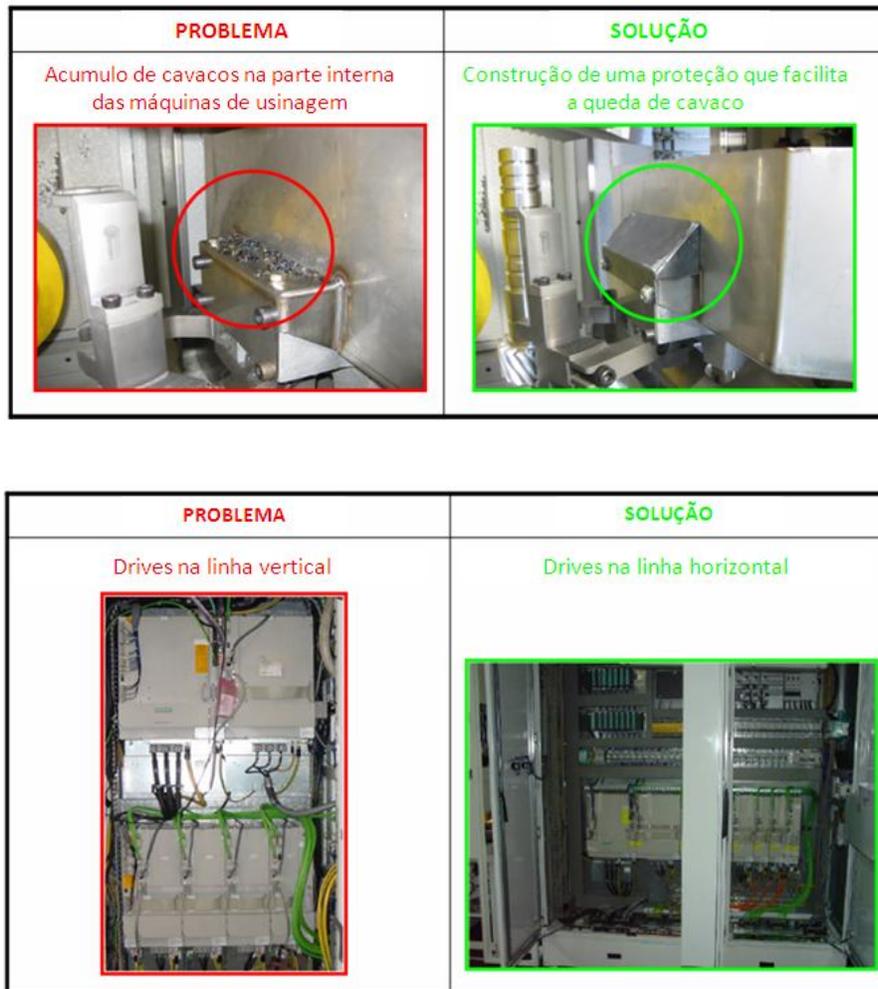


Figura 26: Ilustração preparada pelo planejamento de manutenção durante desenvolvimento do para projeto da nova linha de usinagem

4.3.1.5. Longevidade de linha projetada

A longevidade de uma linha de usinagem pode ser definida como o tempo de funcionamento da linha sem que exista a demanda de uma reforma completa em todos os equipamentos. Não existem estudos específicos de longevidade de uma linha de usinagem desenvolvida basicamente pois a longevidade é uma resultante de diversos fatores a serem considerados na operação:

- Manutenções preventivas baseadas nas recomendações do fabricante dos equipamentos;
- Manutenções preditivas baseados em estudos estatísticos de falhas;
- Material em operação na linha de usinagem;
- Regime de trabalho (horas/semana);
- Limpeza;
- Poka-yoke de processo com objetivo de evitar que erros operacionais prejudiquem os equipamentos;

Com base nos itens acima, pode-se afirmar que a longevidade de uma linha de usinagem não pode ser comparada entre diferentes fábricas. Por outro lado, baseando-se em dados coletados para elaboração desta dissertação, podemos notar que por mais que se tenha ineficiência nas manutenções preventiva e preditivas, e, por mais agressivo que seja o meio em que esta operação esteja contida, a longevidade continua sendo extremamente superior a velocidade de mudança dos modelos de produtos em produção.

Baseando-se no tempo de vida útil de máquinas e equipamentos do fabricante de motores em questão, podemos tomar como exemplo os dados atuais de outra linha de usinagem, com condições de operação e de produto produzido muito similares. Na

figura 27, pode-se notar que é prática da empresa a utilização de máquinas com mais de 2 décadas em média, o que onera a eficiência produtiva e consequentemente seu planejamento de entregas vs. produção realizada.



Figura 27: Layout de uma linha de usinagem do fabricante em questão com tempo de utilização dos equipamentos alocados – Adaptado de dados do fabricante.

4.3.1.6. Maior rentabilidade no preço de venda

Muito mais importante do que tentar obter uma alta rentabilidade no início de um novo negócio é ter uma visão clara de como estão distribuídos os custos operacionais. A confiança nos dados estimados ainda na fase de projeto são condição para uma futura maior lucratividade.

No caso de um modelo de negócio no qual a empresa em questão já detém todos os conhecimentos sobre determinada operação, neste caso a usinagem de blocos de motor, a atividade de estimar valores relacionados a esta operação é bem mais preciso, pois os dados de operações semelhantes encontram-se disponíveis. Com isso, a área técnica consegue suportar a área comercial para formulação da futura estratégia comercial com o cliente.

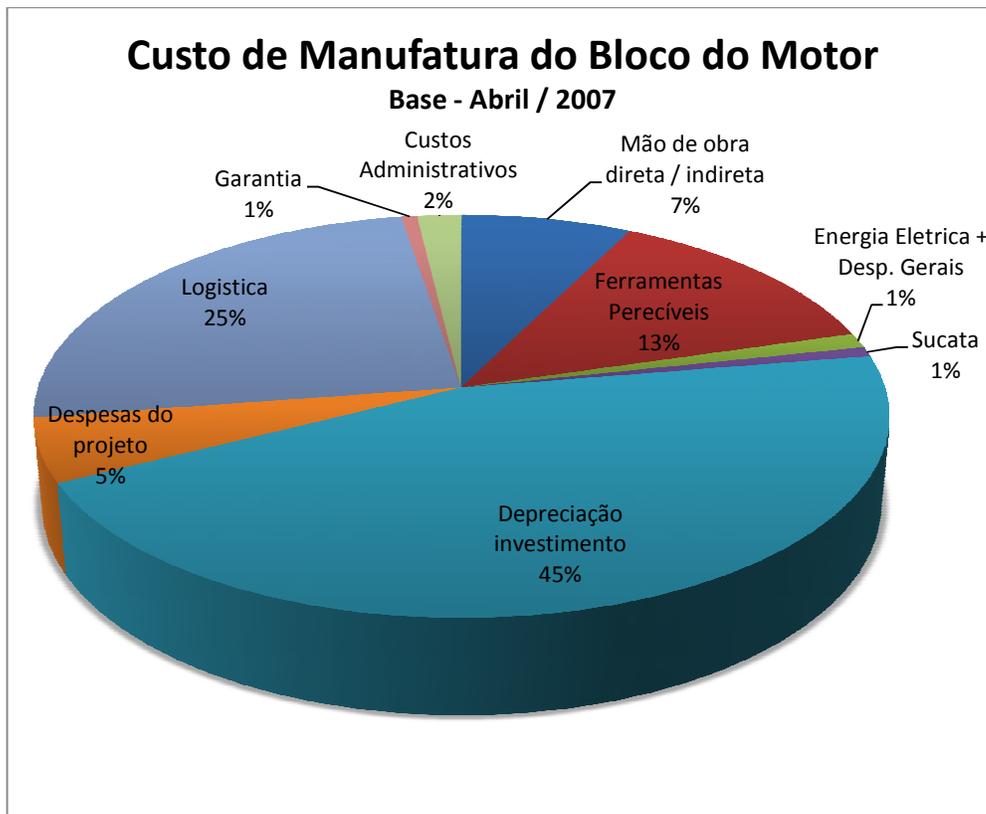


Figura 28: Indicador das divisões de custo de manufatura do bloco do motor em questão – Adaptado dos dados do fabricante.

4.3.1.7. Menor número de Mão de obra direta

Conforme descrito no gráfico na figura 27, o custo de mão de corresponde a 13% do total dos custos operacionais da linha de usinagem em questão, porém isso ocorre devido ao fato de tratar-se de uma solução técnica a qual utiliza-se de sistemas de abastecimento automático de peças por meio de portais. Esta solução reduz drasticamente o número de mão de obra direta necessária na linha de usinagem e conseqüentemente o custo de operação.

A conclusão se este sistema é vantajoso ou não, pode-se obter facilmente analisando a expectativa de vida do projeto, ou seja, o quão maior é o número total de blocos que prospecta usinar nesta linha, mais depreciado ficará o investimento realizado nos equipamentos.

A partir do resultado representado pela tabela 8 e figura 28, pode-se concluir que nos dias atuais, o dimensionamento de mão de obra deve ser tratada como premissa de um projeto de manufatura, sendo um dos principais impactantes na competitividade do produto no mercado.

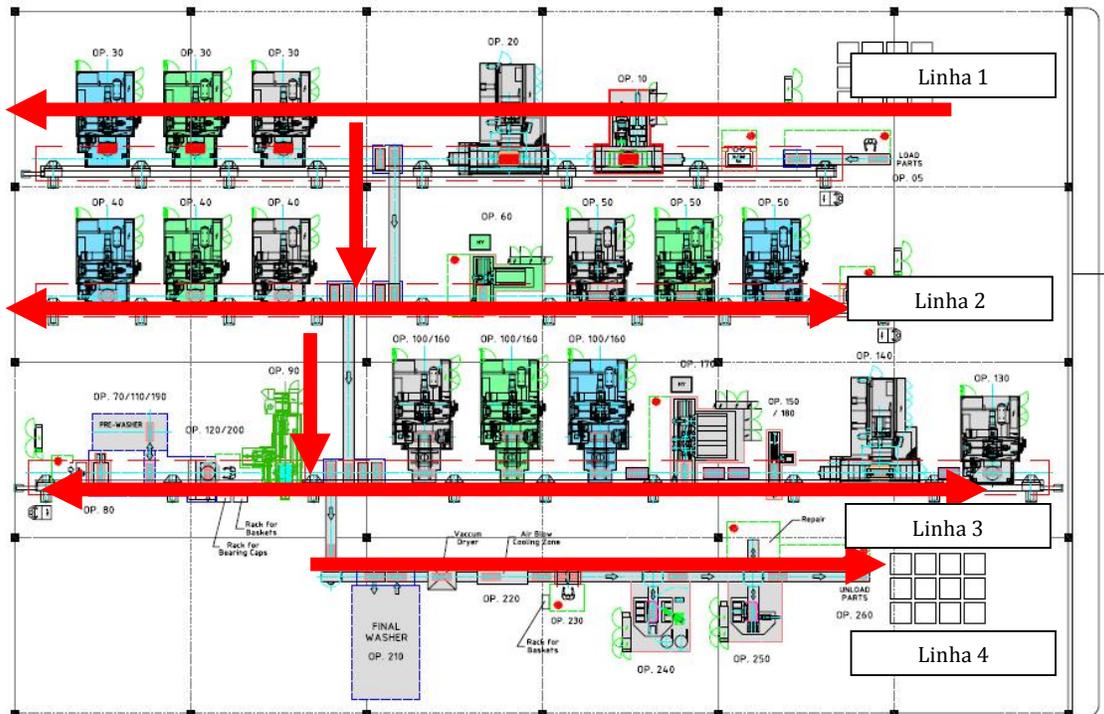


Figura 29: Layout proposto com a separação por “linhas” para dimensionamento de Mão de Obra.

Tabela 8: Tabela com os valores de dimensionamento de mão obra baseado na fase 3 do projeto com cadência de 9,14 min.

Descrição	Solução 1	Solução 2	Solução 3
	Máquinas Flexíveis + Abastecimento Portais	Máquinas Transfer	Máquinas Flexíveis + Abastecimento Manual
Linha 1	4	4	8
Transferência	0	0	1
Linha 2	3	2	6
Transferência	0	0	1
Linha 3	6	5	11
Transferência	0	0	1
Linha 4	3	3	5
Absenteísmo & Férias (10% Total)	2	2	3
TOTAL	18	16	36

4.3.1.8. Redução máxima no consumo de ferramentas

Baseado na experiência de outros projetos desenvolvidos na empresa em questão, as estimativas de consumo de ferramentas são estudadas na fase preliminar de projeto, porém os resultados expressivos em aumento de vida útil e performance, resultando em um menor tempo de usinagem, melhor qualidade e custo, apenas saem por meio de testes empíricos. Esta decisão hoje é assumida por quase todas as grandes corporações, as quais desenvolvem projetos desta magnitude, basicamente devido ao tempo que as simulações em CAE e CAM demandam.

As são muito utilizadas em projetos, nos casos em que temos uma usinagem crítica para o produto final e os testes com diferentes elementos não se mostra eficaz. O consumo de ferramentas é resultado de uma série de fatores que devem ser analisados durante a simulação e ou nos testes empíricos realizados ao lado do equipamento. Dentre as inúmeras variáveis, pode-se mencionar as variáveis do processo que mais influenciam no resultado final:

- Fixação da peça no dispositivo;
- Fixação da ferramenta na máquina;
- Deformação do dispositivo durante a usinagem;
- Deformação da peça durante a usinagem;
- Folgas no equipamento – máquina de usinagem;
- Potência do equipamento de usinagem;
- Limitação de rotação da ferramenta e conseqüentemente da velocidade de corte (V_c);
- Dimensionamento correto do fixador da ferramenta (HSK, ISO entre outros);

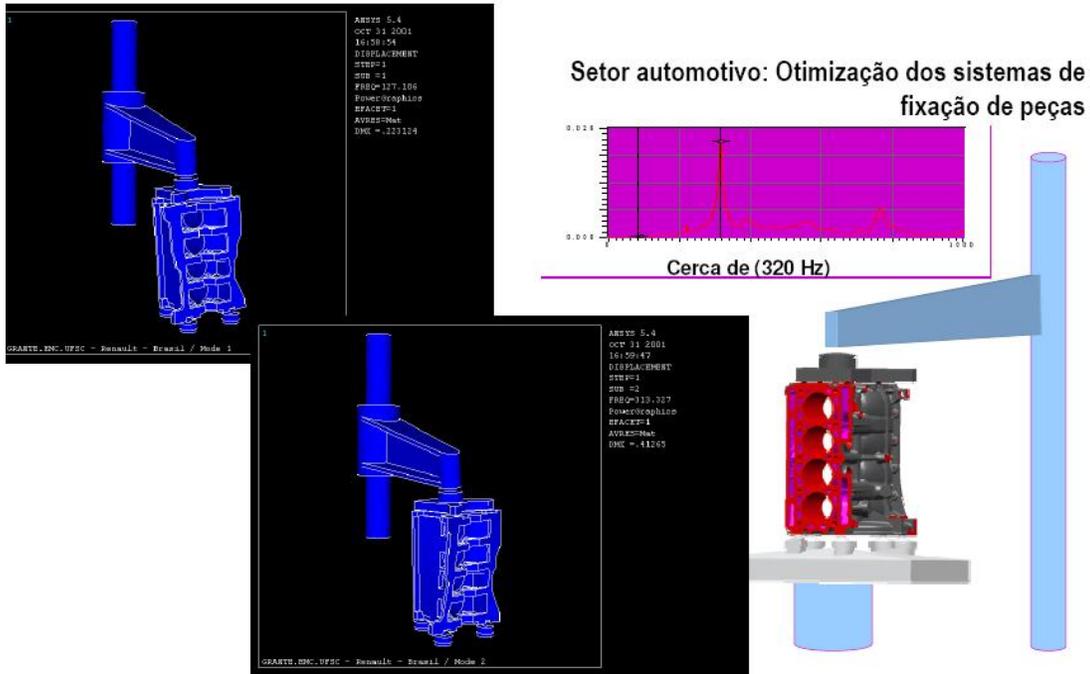


Figura 30: Estudo de caso da usinagem de bloco de motor realizada pelo CCM

– ITA (GOMES, 2009)

4.3.1.9. Áreas de apoio com contingente reduzido

Uma linha de usinagem necessita de recursos de apoio para o perfeito funcionamento. As principais áreas que suportam a operação desta linha são: Área de Processos, Metrologia, Preset de ferramentas e Manutenção industrial. Estas áreas têm como cliente, o atendimento a produção.

Durante a fase de projeto, é fundamental que a adequação destas áreas estejam inseridas dentro da necessidade de recursos humanos e de equipamentos. A redução deste contingente somente pode acontecer face a sinergia de recursos.

No estudo de caso em questão, a melhor alternativa em questão é obter sinergia de recursos operacionais, concentrando-os em uma mesma área física com possibilidade de atendimento de todas as linhas de usinagens de determinada planta.

4.3.1.10. Redução do inventário em produção

A redução do inventário em produção faz parte do objetivo das grandes corporações baseados na filosofia do *Lean Manufacturing* desenvolvida por Taiichi Ohno. (LIKER, 2004). A figura 31 apresenta o conceito generalista do Sistema Toyota de Produção.

Como um dos pilares do sistema Toyota de Produção, a redução dos desperdícios dentro de uma linha de manufatura torna-se essencial para que seja obtido como resultado um processo *Lean*. Muito do conceito Lean Thinking estabelecido em quase todas as literaturas sobre o sistema Toyota não podem ser consideradas em fase de engenharia avançada, face as indefinições e premissas que tem-se que adotar devido a falta de dados de entrada para o desenvolvimento.

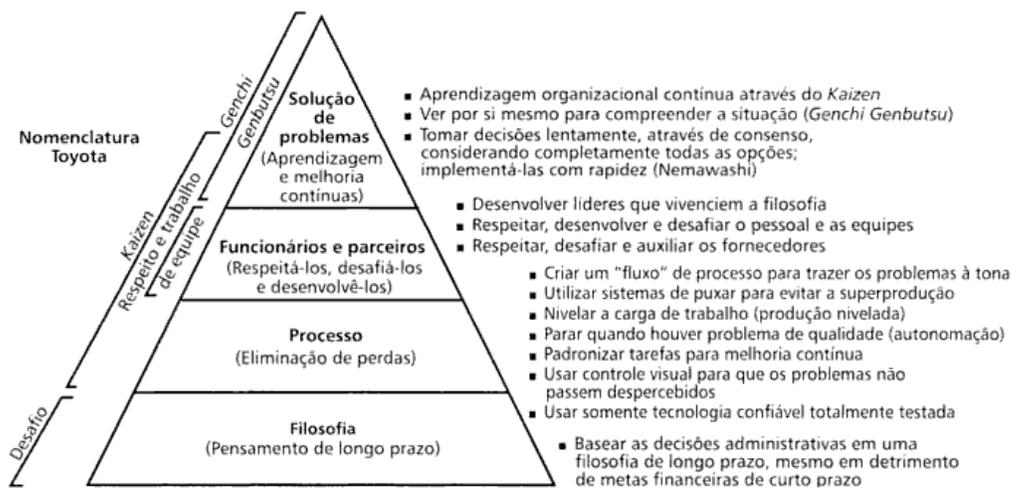


Figura 31: Os “4Ps” do sistema Toyota de produção (LIKER, 2004)

4.3.1.11. Menor tempo parado entre SOP e início das próximas fases

Como mencionado anteriormente, a melhor solução para o resultado financeiro da companhia que decide seguir em frente com um projeto desta magnitude, é a maior divisão possível de acordo com o crescimento dos volumes a ser produzidos pelo cliente final. Neste caso, a área técnica deve planejar, ainda na fase de desenvolvimento, como se acontecerá o processo de expansão devido ao fato que após o início de fornecimento, toda e qualquer parada da linha produtiva, deve-se avaliar a possibilidade de paradas do cliente final. Muitas das vezes, paradas são inevitáveis devido a instalações elétricas simultâneas as máquinas em operação, sinergia de sistema de abastecimento, movimentação de máquinas, tryouts, balanceamento de processo, entre outros.

4.3.1.12. Índices de qualidade

Na fase de conceito de uma linha de manufatura de blocos, a questão qualidade futura das peças produzidas, devem ser considerados como um dos requisitos com maior importância no cenário de tomada de decisão.

Todas as ferramentas possíveis para estimar um futuro índice de CP e CPk de uma linha de usinagem, são considerados ainda com um fator de incerteza muito grande, devido a incertezas encontradas na fase de conceito. Devido a este fato, são realizadas análises nos projetos de ferramentas e de dispositivos, analisando-os comparativamente com os projetos anteriores onde existiram problemas de estabilidade de processo. Conforme mencionado anteriormente no capítulo 5.3.1.8, grande parte dos experimentos em usinagem ainda são feitas de maneira empírica na

indústria, face ao tempo e incertezas na utilização de ferramentas eletrônicas para simulação.

4.3.2. Mariz de decisão

O método utilizado para suportar o processo decisório da escolha de qual configuração de linha de manufatura é o Kepner Tregoe. Conforme mencionado anteriormente, o motivo da escolha deste método é a demanda de uma visão comparativa entre diferentes opções resultantes de uma fase de desenvolvimento, ponderando os fatores de maior importância e principalmente com um resultado baseado numa análise racional e objetiva.

Todos os itens mencionados no capítulo 5.3.1 - cenário de tomada de decisão, são escalonados na matriz, exemplificada na tabela 9, estabelece-se os seguintes itens antes de se obter o resultado final:

- Grau de importância: item dentro dos processos decisórios da empresa em questão. Neste item é muito importante o time responsável pela elaboração da matriz, ter a idéia clara das expectativas da alta direção da empresa e da situação financeira da mesma naquele instante;
- Resultado operacional: trata-se do resultado operacional que aquele item trará durante a operação da linha de manufatura futuramente. Como exemplo, podemos citar as conseqüências de futuras modificações na peça a ser manufaturada por esta linha produtiva se caso optar-se por uma solução dedicada ao invés de flexível;
- Viabilidade de projeto: Trata-se de um resultado que pode ou não inviabilizar a execução de um projeto desta magnitude. Em termos

práticos, uma decisão de seguir em frente com uma solução automática, com alto nível de automação e robôs, pode trazer grandes benefícios a qualidade do produto final a ser manufaturado, por outro lado, pode inviabilizar a execução do projeto face aos altos investimentos que serão demandados.

Como resultado, cada um dos itens mostrará seu resultado individual com seu respectivo grau de importância. Como resultado global, pode-se obter um valor percentual, o qual pode ser comparado as “n” soluções de projeto propostas e também pode ser comparado a um resultado hipotético de 100% de atendimento das expectativas da solução. O resultado 100% é considerado hipotético, devido a impossibilidade técnica de contemplar na sua totalidade determinado projeto.

Tabela 9: Matriz de decisão comparando as soluções técnicas com base nos requisitos de projeto – Adaptado de (CLEMEN, 1996)

		Consequencias					OBS	
		Grau Importancia [0 a 100]	Resultado Operacional [1 a 10]		Viabilidade de Projeto [1 a 10]			
Linha de Usinagem	Linha Flexível (Centros de Usinagem)	Investimento total;	100	10	1000	10	1000	USD 27Mi
		Desencaixe de investimentos ao longo de 4 anos de projeto;	70	10	700	10	700	USD 15Mi / USD 7Mi / USD 5Mi
		Custos operacionais;	40	5	200	10	400	
		Manutenabilidade;	40	8	320	10	400	
		Lifetime da linha de manufatura projetada (PRODUTO);	50	10	500	10	500	
		Maior flexibilidade possível;	80	10	800	10	800	
		Maior rentabilidade no preço de venda do produto;	90	10	900	10	900	
		Menor número de operadores trabalhando nesta linha;	70	8	560	8	560	
		Redução máxima do consumo de perecíveis na fabricação (ferramentas de corte);	60	8	480	8	480	
		Áreas de apoio a produção com staff reduzido	30	8	240	8	240	
	Redução do inventário em produção	40	9	360	9	360		
	Menor tempo parado entre o SOP de cada umas das fases;	30	8	240	8	240		
	Qualidade - Índices de CP & CPk projetados	100	7	700	7	700		
		TOTAL		87,50%		91,00%		
	Linha Dedicada (Conceito Transfer)	Investimento total;	100	10	1000	6	563	USD 38Mi
		Desencaixe de investimentos ao longo de 4 anos de projeto;	70	10	700	5	318	USD 33Mi / USD 3Mi / USD 2Mi
		Custos operacionais;	40	8	320	10	400	
		Manutenabilidade;	40	5	200	10	400	
		Lifetime da linha de manufatura projetada (PRODUTO);	50	4	200	4	200	
		Maior flexibilidade possível;	80	4	320	4	320	
Maior rentabilidade no preço de venda do produto;		90	10	900	10	900		
Menor número de operadores trabalhando nesta linha;		70	10	700	10	700		
Redução máxima do consumo de perecíveis na fabricação (ferramentas de corte);		60	10	600	10	600		
Áreas de apoio a produção com staff reduzido		30	8	240	8	240		
Redução do inventário em produção	40	9	360	9	360			
Menor tempo parado entre o SOP de cada umas das fases;	30	10	300	10	300			
Qualidade - Índices de CP & CPk projetados	100	10	1000	10	1000			
	TOTAL		85,50%		78,76%			

5. Conclusões

5.1. Considerações finais

A competitividade do mercado automotivo brasileiro faz com que toda a cadeia parte desta atividade, trave uma batalha por custos operacionais cada vez menores, qualidade dos produtos cada vez maiores e um número cada vez maior de lançamentos no mercado em menor tempo. Assumindo este cenário atual como perspectiva para a mercado nas próximas décadas, a Manufatura assume um papel fundamental neste plano. Realizando o diagnóstico das operações fabris e preparando-as para a nova realidade do mercado, conclui-se que a Manufatura deve se preparar para suportar as três principais demandas do mercado – Custo, Qualidade e Prazo.

No entanto, para que a Manufatura possa gerir a operação com olhos no futuro, a revisão bibliográfica mostrou que ferramentas de PLM, de gestão de portfólio de produtos e gestão de projetos são premissas para que o planejamento da Manufatura a longo prazo, o qual atenda as expectativas do mercado.

Cabe ressaltar que esta demanda do mercado vem sido impulsionada pela mudança na legislação de poluentes, a qual vem forçando os fabricantes de motores a adequar seus produtos e conseqüentemente revisando suas operações fabris para suportá-los.

Com objetivo de suportar todas as demandas de mercado, durante o desenvolvimento deste trabalho, foram propostas mudanças organizacionais, de gestão de ciclo de vida de produto, de gestão de portfólio e gestão de planejamento estratégico das operações industriais – Engenharia de Produto e Engenharia de Manufatura. Todas as mudanças visualizam uma gestão integrada, a qual possibilita

um planejamento de longo prazo nas operações fabris de uma empresa com uma grande diversidade de produtos em produção.

Face aos resultados benéficos que a Engenharia de Ciclo de vida trás para o planejamento de produto e como consequência, para todas as áreas das grandes corporações, conforme discutido no desenvolvimento desta dissertação, pode-se concluir que nos dias atuais a demanda de se estudar o ciclo de vida de um produto, por intermédio das ferramentas aqui expostas, é mandatória para que todas as áreas das empresas tenham uma visão holística do negócio, as quais as estão engajadas respectivamente. Especificamente sobre as operações de Manufatura de uma empresa, os ganhos ficam concentrados na possibilidade de planejamento das operações fabris a longo prazo, planejamento dos investimentos ao longo dos anos e principalmente auxiliar a tomada de decisão para a construção de uma nova linha produtiva ou apenas adaptar as existentes.

5.2. Recomendações para trabalhos futuros

Recomenda-se como continuidade deste trabalho, o diagnóstico de uma empresa sem um sistema de gestão integrado dos processos de negócio a partir de sistemas PLM e posteriormente sua implementação.

A partir desta iniciativa, todos os ganhos que hoje observa-se em modelos de gestão diferentes, poderão ser obtidos e comparados em uma mesma empresa, sob mesma gestão.

6. Referências bibliográficas

- AGOSTINHO, L. (1995). Integração Estrutural dos Sistemas de Manufatura como Pré Requisito de Competitividade. *Tese de Livre Docência*. UNICAMP.
- ANFAVEA. (2010). *Estatísticas do mercado veiculos comerciais*.
- BANKS, J. (2000). Simulation in the Future. *Winter Simulation Conference*.
- BARBOSA, L. M. (1985). Tendências do uso de aços especiais na indústria automobilística. *Metalurgia-ABM*, v. 41, n. 335, p. 542-544.
- CARVALHO, F. R. (2006). *Aplicação de lógica paraconsistente anotada em tomadas de decisão na engenharia de produção*. São Paulo: USP.
- CHEN, C. C. (1989). A Systematic Assessment of the Value of Flexibility for an FMS. *Third ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems*. Amsterdam: ELSEVIER.
- CIMdata. (n.d.). *CIMdata - Global Leaders in PLM Consulting*. Retrieved Março 03, 2011, from <http://www.cimdata.com/>
- CLEMEN, R. T. (1996). *Making Hard Decisions*. Brooks / Cole Publishing Company.
- CONAMA. (n.d.). *Conselho Nacional do Meio Ambiente*. Retrieved Março 25, 2011, from <http://www.mma.gov.br/port/conama/>
- COOPER, R. G. (1993). *Winning at new products: accelerating the process form idea to launch*. Perseus Books.
- COSTA, S., & LIMA, E. (2002). Uses and misuses of the overall equipment effectiveness for production management. *Engineering Management Conference*.
- CREDIE, C. A. (1995, Out). Aço plano na indústria automobilística brasileira. *Revista Metalurgia-ABM*, pp. v. 41, n. 335, p 539-542.
- DIESELNET. (n.d.). *DIESELNET.COM*. Retrieved January 15, 2011, from <http://www.dieselnet.com/>
- FAVARIN, M. L., & PIRES, S. R. (2004). Gestão Estratégica da Manufatura em uma Empresa de Autopeças. *REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA*, pp. V. 11, Nº 21 – pp. 53-66.
- GEORGES, M. R. (2005, Julho). Metodologia para Modelagem em Simulação de Sistemas: Aplicação em Manufatura Discreta. Campinas, São Paulo, Brasil: Universidade Estadual de Campinas.
- GEORGES, M. R. (2001). Uma contrinuição sobre a utilização de sistema de informação na formulação do planejamento estratégico nos sistemas de manufatura. Campinas: UNICAMP.

GOMES, J. O. (2009). Uma reflexão sobre os requisitos e as restrições para a fabricação de componentes automotivos. *IV Workshop de Manufatura Automotiva - ITA*. São José dos Campos, SP.

GRITTI, J. A., CANGUE, F. J., & GODEFROID, L. B. (2002). Fatigue crack growth in two dual-phase steels used in automotive wheels discs Fatigue 2002. *INTERNATIONAL FATIGUE CONFERENCE 2002*, (pp. v.1, p.1-20). Stockholm, Sweden, 2002.

HERRMANN, C., THIEDE, S., LUGER, T., ZEIN, A., STEHR, J., & HALUBEK, P. (2009). Automotive Life Cycle Engineering. *16th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering (LCE 2009)*. 4 – 6 May 2009 Cairo, Egypt: Institute of Machine Tools and Production Technology (IWF), Department Product and Life Cycle.

INSTITUTE, T. P.-K. (1999). *OEE for operators*. Portland, Oregon: Shopfloor Series.

ISO/TS16949. (2002). Quality management systems.

KOFLANOVICH, N., & HARTMAN, P. (2010). LIVE MODERNIZATIONS OF AUTOMATED MATERIAL HANDLING SYSTEMS: BRIDGING THE GAP BETWEEN DESIGN AND STARTUP USING EMULATION. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, (p. 11).

LEVY, A. R. (1992). *Competitividade Organizacional*. São Paulo: Makron Brooks & McGraw-Hill.

LIKER, J. K. (2004). *O MODELO TOYOTA - 14 PRINCIPIOS DE GESTAO*. BOOKMAN COMPANHIA ED.

MASUYAMA, A. (1983). Idea and Praticce of Flexible Manufacturing System of Toyota. *7th International Conference on Production Research* (pp. 584-590). Windsor, Ontario: ELSEVIER.

NAKAJIMA, S. (1989). *Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance*. IMC.

PMI, P. M. (2004). *Um guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos*. Project Management Institute, Inc.

RAYMOND, L., & CROTEAU, A.-M. (2009, May). Manufacturing Strategy and Business Strategy in Medium-Sized Enterprises: Performance Effects of Strategic Alignment. *IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT*, pp. VOL. 56, NO. 2, pp 192-202.

RIZZO, F., & FERNANDES, J. G. (1999). O Magnésio na indústria automobilística. *Revista Metalurgia & Materiais: Caderno Técnico*, v. 55, n. 484 - p. 82-83.

RON, A. R. (2005). *Equipment Effectiveness: OEE Revised*. *IEEE Transactions on semiconductor manufacturing*.

ROZENFELD, H., FORCELLINI, F. A., AMARAL, D. C., TOLEDO, J. C., SILVA, S. L., ALLIPRANDINI, D. H., et al. (2006). *Gestão de Desenvolvimento de Produtos - Uma referência para a melhoria do processo*. Ed. Saraiva.

SANTIAGO, L. P. (1999). *Sistema de desenvolvimento de produtos: como capacitar empresas de autopeças*. Belo Horizonte: UFMG, Dissertação (Mestrado)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, EEUFMG, 141 p.

SIEMENS. (2010). *Product Life Cycle Management - Siemens Automation*. (Siemens) Retrieved June 18, 2010, from www.plm.automation.siemens.com/en_us/about_us/success/case_study_by_company.cfm

TANGEN, S. (2003). An overview of frequently used performance measures. *International Journal of Productivity and Performance Management* , pp. Number 7.pp. 347-354.

ZANCUL, E. D. (2009). *Gestão do ciclo de vida de produtos: Seleção de sistemas PLM com base em sistemas de referencia*. São Carlos: Universidade de São Paulo.