

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O PROJETO
DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Miguel Guilherme Antonello

Santa Maria, RS, Brasil

2015

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O PROJETO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Miguel Guilherme Antonello

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: Leonardo Nabaes Romano, Dr. Eng. Mec.

Santa Maria, RS, Brasil.

2015

Antonello, Miguel Guilherme

Proposta de Metodologia para o Projeto de
Motores de Combustão Interna / Miguel Guilherme
Antonello.-2015.
177 p.; 30cm

Orientador: Leonardo Nabaes Romano
Coorientador: Mario Eduardo Santos Martins
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção, RS, 2015

1. Projeto de Produto 2. Motor de Combustão Interna
3. Sistematização de Conhecimentos I. Romano, Leonardo
Nabaes II.Martins, Mario Eduardo Santos III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por meio do Programa de Geração Automática
da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Miguel Guilherme Antonello. A reprodução de partes
ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Erly de Almeida Lima, n. 211, Apto 202, Bairro Camobi, Santa Maria, RS.

CEP: 97105-120

Fone (055) 8437-2119; E-mail: eaitche@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O PROJETO DE MOTORES
DE COMBUSTÃO INTERNA**

elaborado por
Miguel Guilherme Antonello

como requisito para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Produção

Comissão Examinadora

Leonardo N. Romano, Dr. Eng. Mec.
(Presidente/Orientador - UFSM)

Mario E. Santos Martins, Ph. D.
(Coorientador - UFSM)

Miguel N. Camargo, Dr. Eng. Agr.
(UFSM)

Luciano C. Vilanova, Dr. Eng. Mec.
(UFSM)

Santa Maria, 24 de junho de 2015

Agradeço a Deus e aos espíritos protetores por guiarem e, em tantas vezes, conduzirem o rumo deste trabalho quando se parecia estar no meu limite.

À minha família pelo apoio e compreensão durante este trabalho. Por compreender a imersão neste melhoramento intelectual, muitas vezes em detrimento do lado afetivo.

Ao orientador Leonardo N. Romano pela lapidação das ideias e incentivo.

E à todos que de alguma forma estiveram envolvidos e contribuíram com este trabalho de mestrado, os meus sinceros agradecimentos.

Não só aos braços foram conferidas as oportunidades de servir. Os ouvidos trabalham quando ouvem a história de uma vida. Os pés, quando caminham em direção ao bem, trabalham a serviço do Alto. A boca exerce atividade incessante, falando quando possa, e o cérebro, a serviço da inteligência, descobre mil formas de colocar em prática as ideias.

(Alex Zarthú – espírito)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Santa Maria

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O PROJETO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

AUTOR: MIGUEL GUILHERME ANTONELLO
ORIENTADOR: LEONARDO NABAES ROMANO
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 24 de junho de 2015

Desde seus primórdios, o homem tentou substituir o esforço animal por máquinas. Tanto para minimizar os esforços, agilizar os processos, como também para a satisfação pessoal com a capacidade de romper as barreiras do conhecimento. O motor de combustão interna pode representar essa satisfação e desde os seus momentos iniciais vem recebendo inovações e aperfeiçoamentos feitos pelo homem. Destacando a importância do motor de combustão interna e por não haver disponível na literatura atual uma metodologia específica em planilha interativa para o desenvolvimento destes, entende-se a importância da organização do conhecimento para o projeto de motores de combustão interna. Com isso, esta dissertação apresenta uma metodologia para auxiliar nas tomadas de decisões para o projeto de motor de combustão interna. A metodologia para projeto de motor de combustão interna – PMCI - foi desenvolvida com o intuito de auxiliar os acadêmicos dos cursos de engenharia a desenvolver motores de combustão interna para aplicações, principalmente didáticas, sendo estes guiados e orientados por um conjunto de fases e tarefas para se chegar ao objetivo final. Também para ressaltar a importância do processo de sistematização e organização de conhecimento, sendo uma ferramenta de exemplificação e auxílio em disciplinas de projeto de produto e metodologia de projeto. Estruturada por seis fases: planejamento e informações sobre o projeto do motor, geração e seleção da concepção do motor, detalhamento da concepção do motor, manufatura do motor, montagem e teste do motor, e por fim a fase de encerramento do projeto do motor. Todas as fases estão compostas por uma descrição da entrada da fase, identificador da tarefa/subtarefa, explicação da tarefa/subtarefa, o responsável pela realização da tarefa e a saída da corrente fase. Além da metodologia foi elaborado uma planilha eletrônica com todas as informações das fases e também disponibilizado ferramentas de gerenciamento e controle do projeto como um cronograma e dois gráficos de controle do projeto. Após o desenvolvimento, a metodologia foi posta à avaliação por profissionais relacionados com o tema e obteve-se resultado satisfatório. 68% dos respondentes afirmaram que esta metodologia atende totalmente como auxiliadora no processo de desenvolvimento de um motor de combustão interna. Desta forma, a metodologia de projeto expressa no PMCI alcançou o seu objetivo inicial.

Palavras-chave: Metodologia de Projeto. Motor de Combustão Interna. Sistematização.

ABSTRACT

Master's Degree Dissertation
Post Graduate Program in Production Engineering
Federal University of Santa Maria

METHODOLOGY PROPOSAL FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES PROJECT

AUTHOR: MIGUEL GUILHERME ANTONELLO

ADVISOR: LEONARDO NABAES ROMANO

Local and Date: Santa Maria, June 24th, 2015

The internal combustion engine contributed in replacing animal effort and streamlining production processes. It has been enhanced by the man since its beginnings. Given the wide application of the internal combustion engine and the unavailability of a specific methodology for its development in the modern literature, it becomes clear the importance of knowledge systematization to this product's design. This dissertation presents a methodology to assist in decision making during the process of the internal combustion engine project. The methodology was developed to assist engineering students to develop internal combustion engines to apply mainly didactically, those being led and guided by a set of phases and tasks to reach the ultimate goal. It is also important to highlight the importance of the process of organizing knowledge, as an exemplification and aid tool for product design and design methodology courses. The methodology is structured in six phases: planning and information on the engine design, generation and selection of engine conception, engine concept detailing, engine manufacturing, assembly and engine testing, and finally the engine design closing phase. All phases are composed of a description of the stage, task/sub-task identifier, task/sub-task explanation, person responsible for carrying out the task and the output of the current phase. In addition to the methodology it was developed a spreadsheet with all the information on the phases and it was also provided management and project control tools such as a schedule and two project control charts. After its development, the methodology was assessed by professionals and 68% of the respondents claimed that this method is fully compliant as a helper in an internal combustion engine development process. Therefore, the design methodology expressed in the PMCI reached its initial goal.

Keywords: Design Methodology. Internal Combustion Engine. Systematization.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos motores de combustão interna.....	39
Quadro 2 - Relação de massa de Ar/massa de Combustível	44
Quadro 3 - Perfil do respondente.....	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aeolipile - Esquema do motor de Hero de Alexandria.....	24
Figura 2 - Classificação das máquinas térmicas.....	36
Figura 3 - Gobron-Brillié que atinge 136 km/h, movido por MCI.....	37
Figura 4 - Elementos de um motor de combustão interna.....	41
Figura 5 - Tempos de um motor alternativo a quatro tempos.	42
Figura 6 - Motor a 2T de ignição por faísca.	43
Figura 7 - Características do produto ideal.....	48
Figura 8 -Custo das etapas e influência no custo do produto	50
Figura 9 - Custo das alterações do produto nas respectivas fases	51
Figura 10 - Impacto do tempo nas variáveis de projeto	51
Figura 11 - Ciclo de vida do produto e ciclo de vida do projeto	52
Figura 12 - Macrofases e fases do processo de desenvolvimento de produtos	53
Figura 13 - Fluxograma de geração de conceitos do projeto.....	58
Figura 14 - Processos de gerenciamento de projetos.....	60
Figura 15 - Dimensões envolvidas na estrutura do modelo de referência.....	62
Figura 16 - Representação gráfica genérica do modelo de referência.....	63
Figura 17 - Representação descritiva do modelo de referência: leiaute dos elementos	64
Figura 18 - Transformação das ideias em produto utilizando uma metodologia	65
Figura 19 - Processo geral de solução	66
Figura 20 - Distribuição de automóveis leves por tipo de combustível até o ano de 2009.	72
Figura 21 - Distância percorrida pelas pessoas por modos de deslocamento.....	72
Figura 22 - Estrutura básica do modelo proposto.....	76
Figura 23 - Estrutura das fases da metodologia.....	76
Figura 24 - Organograma genérico da equipe de projeto	77
Figura 25 - Fases que compõem a metodologia	78
Figura 26 - Organograma da equipe de projeto	80
Figura 27 - Termo de concordância.....	82
Figura 28 - Grupo 1: identificação do respondente	83
Figura 29 - Grupo 2: tempo de trabalho com o tema projeto de produto e motor.....	84
Figura 30 - Grupo 3: metodologia de projeto do PMCI	85
Figura 31 - Fluxograma da primeira fase do PMCI.....	89
Figura 32 - Tarefas da primeira fase do PMCI.....	90
Figura 33 - Subtarefas da terceira tarefa da primeira fase	92
Figura 34 - Elaboração do cronograma no PMCI.....	94
Figura 35 - Tarefas e subtarefas finais da primeira fase.....	96
Figura 36 - Fluxograma da segunda fase do PMCI.....	98
Figura 37 - Tarefas da segunda fase do PMCI	99
Figura 38 - Estrutura funcional do motor	100
Figura 39 - Gerador de Ideias para o sistema ou função do motor.....	101
Figura 40 - Matriz morfológica com a combinação dos princípios de solução.....	102
Figura 41 - Matriz de decisão entre as concepções geradas	104
Figura 42 - Tarefas e subtarefas finais da segunda fase	105
Figura 43 - Fluxograma da terceira fase do PMCI	106
Figura 44 - Tarefas da terceira fase do PMCI	107
Figura 45 - Codificação dos componentes e sistemas	109
Figura 46 - Representação da Análise do Projeto do MCI.....	111

Figura 47 - Tarefas e subtarefas finais da terceira fase.....	113
Figura 48 - Fluxograma da quarta fase do PMCI.....	114
Figura 49 - Tarefas da quarta fase do PMCI.....	115
Figura 50 - Tarefas e subtarefas finais da quarta fase.....	117
Figura 51 - Fluxograma da quinta fase do PMCI.....	119
Figura 52 - Tarefas da quinta fase do PMCI.....	120
Figura 53 - Tarefas e subtarefas finais da quinta fase.....	122
Figura 54 - Fluxograma da Fase de Encerramento do Projeto do MCI.....	123
Figura 55 - Tarefas da sexta fase do PMCI.....	124
Figura 56 - Tarefas e subtarefas finais da sexta fase.....	126
Figura 57 - Tela inicial da planilha do PMCI.....	128
Figura 58 - Primeira fase de projeto visualizada na planilha do PMCI.....	129
Figura 59 - Gerador de Ideias para o sistema ou função do motor.....	130
Figura 60 - Matriz morfológica com a combinação dos princípios de solução.....	131
Figura 61 - Matriz de decisão entre as concepções geradas.....	131
Figura 62 - Codificação dos componentes e sistemas.....	133
Figura 63 - Informações e Manual de Utilização do PMCI.....	133
Figura 64 - Tela inicial do cronograma.....	134
Figura 65 - Inserir data de início e duração da tarefa no cronograma.....	135
Figura 66 - Anotar Feriados do ciclo do projeto.....	136
Figura 67 - Caixa de aviso após geração do arquivo portátil do cronograma.....	137
Figura 68 - Organograma da equipe de projeto.....	138
Figura 69 - Representação da Análise do Projeto do MCI.....	139
Figura 70 - Gráfico de controle das tarefas realizadas x planejadas.....	140
Figura 71 - Distribuição por escolaridade.....	144
Figura 72 - Respostas do Grupo 2.....	145
Figura 73 - Questões 10 até 15 da parte 1 do Grupo 3.....	146
Figura 74 - Questões 16 até 20 da primeira parte do Grupo 3.....	148
Figura 75 - Questões 21 e 24 da segunda parte do Grupo 3.....	149
Figura 76 - Questões 28 e 31 da terceira parte do Grupo 3.....	150

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
BOM	<i>Bill of Materials</i> - Lista de Materiais
CAD	<i>Computer Aided Design</i> - Projeto Auxiliado por Computador
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CI	<i>Compression Ignition</i> - Ignição por Compressão
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
ECU	<i>Engine Control Unit</i> - Unidade de controle do motor
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MCI	Motor de Combustão Interna
MIE	Motor de Ignição Espontânea
MIC	Motor Ignição por Centelha
PDMA	Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i> - Conjunto de Conhecimentos sobre Gerenciamento de Projetos
PMCI	Projeto de Motor de Combustão Interna
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
PMI®	<i>Project Management Institute</i> - Instituto de Gerenciamento de Projeto
PPGEP	Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PROMOT	Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares
SI	<i>Spark Ignition</i> - Ignição por Faísca
TC	Transporte Coletivo
TI	Transporte Individual
TNM	Transporte Não Motorizado

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Fase 1: planejamento e informações sobre o projeto do MCI.....	166
Apêndice B – Fase 2: geração e seleção da concepção do MCI.....	168
Apêndice C – Fase 3: detalhamento da concepção do MCI.....	171
Apêndice D – Fase 4: manufatura do MCI.....	174
Apêndice E – Fase 5: montagem e teste do MCI.....	175
Apêndice F – Fase 6: encerramento do projeto do MCI.....	177

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Tema: Motores de Combustão Interna	24
1.2	Contexto: Projeto de Motores de Combustão Interna	27
1.3	Foco: Sistematização de Conhecimentos para o Projeto de Motores de Combustão Interna.....	28
1.4	Formulação do problema da dissertação.....	29
1.5	Objetivos.....	29
1.5.1	Objetivo Geral	30
1.5.2	Objetivos Específicos	30
1.6	Classificação da presente pesquisa.....	30
1.7	Contribuições da Dissertação	32
1.8	Organização dos capítulos da dissertação	32
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1	Motores de Combustão Interna.....	35
2.2	Projeto de Motores de Combustão Interna	47
2.2.1	Gerenciamento de Projeto	59
2.3	Sistematização de Conhecimentos para o Projeto de Produto	60
2.4	Sustentabilidade na indústria automotiva.....	67
2.4.1	Controle de Emissões Veiculares	70
3	ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	75
3.1	Primeira Etapa: propor uma estrutura base	75
3.2	Segunda Etapa: modelar o processo do projeto de motor de combustão interna.....	78
3.2.1	Organograma do projeto.....	79
3.3	Terceira Etapa: avaliação da metodologia.....	81
4	METODOLOGIA PARA PROJETO DE MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA - PMCI	87
4.1	Fase de Planejamento e Informações sobre o Projeto do MCI	87
4.2	Fase de Geração e Seleção da Concepção do MCI	97
4.3	Fase de Detalhamento da Concepção do MCI	105

4.4	Fase de Manufatura do MCI.....	114
4.5	Fase de Montagem e Teste do MCI	118
4.6	Fase de Encerramento do Projeto do MCI.....	122
5	UTILIZAÇÃO DA PLANILHA DO PMCI	127
6	RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DO PMCI	143
7	CONCLUSÃO	157
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159
	APÊNDICES.....	165

1 INTRODUÇÃO

Imaginar, criar, gerar concepções, buscar materiais, manufaturar, montar, utilizar, recuperar, desmontar e descartar há muito tempo são atividades inerentes do ser humano. Não necessariamente na ordem e com as etapas apresentadas, mas o homem desde os seus primórdios vem utilizando produtos manufaturados para sua subsistência. Com o avanço da sua capacidade pensante e organização de seus métodos de produção, os resultados destes esforços estão significativamente melhorados.

Os benefícios apresentados pelos produtos melhorados, possibilitou a fixação do homem e a formação de comunidades. Com o aumento das comunidades veio o aumento do consumo, o surgimento de concorrência, de produtos em destaque, de produtos em declínio, mas em comum a crescente utilização dos recursos naturais para geração dos produtos. Mesmo a fixação não abandona a vontade de locomover-se, os motores de combustão interna são auxiliares diretos dessa locomoção e também da utilização dos recursos do planeta.

A sustentabilidade deve ser, cada vez mais, requisito importante do projeto destes produtos, mesmo se estes não sejam de cliente. Ao abordar requisitos, deve-se reportar projeto de produto, metodologia, esforço temporário e produto final. O pensamento e a capacidade criativa, talvez não tenha uma ordem cronológica e linear, mas isso não significa que o desenvolvimento de produto o deva ser.

Uma metodologia com características definidas, segmentada em etapas previamente determinadas com exatidão trazem qualidade ao processo e ao produto. Com a necessidade de se manter no mercado competitivo, as empresas buscam alternativas para diferenciarem-se.

Com esse intuito, essa proposta de dissertação apresentará uma organização e sistematização de conhecimentos para auxiliar no desenvolvimento de motores de combustão interna voltados para a sustentabilidade. Visto que o aumento da produção dos motores é inerente ao aumento populacional.

1.1 Tema: Motores de Combustão Interna

O motor é o elemento responsável por converter a energia proveniente da queima do combustível em energia mecânica, e segundo Vieira (2008, p. 32) “o primeiro motor de que se tem notícia é o de Hero (ou Heron) de Alexandria.”. O período desta invenção data do século I d.C. e pode ser visto na Figura 1.



Figura 1 - Aeolipile - Esquema do motor de Hero de Alexandria.

Fonte: Vieira (2008)

É uma espécie de turbina a vapor, no qual se tem um reservatório com água que é levada ao aquecimento. O vapor da água é transportado por um eixo oco até a esfera bi apoiada que possui dois tubos de escape posicionados em lados opostos. A saída do vapor faz a esfera girar.

Com a descoberta de Hero de Alexandria sobre a utilização do vapor para gerar movimento, outros inventores também deram continuidade aos seus experimentos com o vapor, buscando um equipamento que fosse capaz de substituir e também ser superior a mão de obra braçal. O engenheiro mecânico e inventor James Watt, em meados do ano de 1765 proporcionou melhoras nos motores a vapor.

Watt inventa também, a biela, e redescobre a árvore de manivelas (girabrequim), converte o movimento linear em giratório. Logo após, verifica a necessidade de armazenar a energia produzida pelos movimentos do pistão, podendo minimizar os trancos sincopados que os ciclos de trabalho provocam, e inventa o volante do motor. É esse trabalho de Watt que possibilita a aplicação rápida e prática de força de um motor a um eixo de tração ou de impulsão. (VIEIRA, 2008, p. 56).

Até este momento da história, início do século XVIII, os motores são unidades estacionárias, ou seja, não são utilizados como meio de locomoção. Mas em 1769, o engenheiro militar francês, Nicholas Joseph Cugnot constrói o primeiro veículo autopropelido a vapor chamado *Fardier*, que foi projetado para transportar cargas pesadas.

Conforme expresso por Vieira (2008, p. 51), “A história do motor de combustão interna começa com o canhão. Seu cano funciona como o cilindro, sua bala como pistão.”. Seguindo a argumentação de Vieira (2008), o primeiro motor de combustão interna foi desenvolvido pelo major suíço Issac de Rivaz em 1804, tinha como combustível hidrogênio e um rudimentar sistema de ignição elétrica.

No século XIX o automóvel ainda é um produto apenas para os mais abastados financeiramente ou para aqueles que de alguma forma se arriscam a produzir seu próprio veículo automotor. Mas no século XX, por volta dos anos 1901, o carro começa a popularizar-se e como argumenta Vieira (2008, p. 253), “A produção do ano nos Estados Unidos é de 4192 veículos motorizados”. Não existe uma forma de propulsão dominante nos veículos automotores da época, mas conforme Vieira (2008), 40% são movidos a vapor, 38% são elétricos e 22% são movidos a gasolina.

É no século XX que ocorre uma transformação na indústria automotiva, mais especificamente no ano de 1908 quando o automóvel deixa de ser acessível somente para as classes mais ricas e começa a sua popularização.

Em 1º de outubro de 1908, é lançado o Ford Modelo T, o carro que dá rodas ao mundo, Sua produção é iniciada na fábrica de Piquette Avenue, em Detroit. Quase cem anos depois, o Ford T é eleito o “carro do século XX”. Bem elaborado, de altíssima confiabilidade, fácil de dirigir, de fabricação viável, e com preço acessível, o Ford T conquistou o mundo. Alguns anos depois, foi com a fabricação desse carro que Henry Ford implantou seu sistema de produção em massa, chamado depois de Fordismo, e que possibilitou que as pessoas realmente sentissem o que era poder ter e dirigir um automóvel. (VIEIRA, 2008, p. 415).

O aumento da produção de veículos ocorre devido ao início da padronização das peças e da inserção de uma linha de montagem de automóveis, o que possibilitou uma redução dos custos. Essa era de prosperidade se pode atribuir a um homem e a um carro: Henry Ford e o Ford T.

A disseminação dos automóveis movidos a motores de combustão interna, traz consigo o surgimento de grandes estudiosos sobre este produto como Harry Ricardo com a primeira publicação de seu livro em 1923, Dante Giacosa com seu livro publicado no ano de 1947, John Heywood em 1988 entre outros pesquisadores de motores de combustão interna. Atualmente se pode citar o livro de John Manning no ano de 2012 com a abordagem no projeto de motores de combustão interna.

A popularização do automóvel carrega consigo a necessidade dos motores de combustão interna e um significativo aumento na demanda deste produto que é parte essencial e se não uma das mais importantes dos veículos auto propelidos.

Fica evidenciado o desenvolvimento do motor de combustão interna juntamente com a evolução da mobilidade. Somado a larga aplicação deste produto, sendo que no ano de 2014 segundo informação disponibilizada pela ANFAVEA, foram produzidos mais de três milhões de auto veículos no Brasil, este total composto por veículos leves, caminhões e ônibus. E no ano de 2015 até o mês de abril foram produzidos mais de oitocentos mil auto veículos, sendo que os equipados com motor de combustão interna, tanto os movidos a gasolina, como os chamados *flex fuel* movidos com mistura de gasolina e álcool somam mais de 90%.

Desta forma, destaca-se a importância do estudo dos motores de combustão interna e a necessidade de um processo sistematizado de projeto do produto. Processo este que venha a auxiliar, principalmente os estudantes e pesquisadores, a compreender o desenvolvimento do projeto de um motor de combustão interna. Ao mesmo passo que se familiarize com a aplicação de uma metodologia de projeto para planejar um produto industrial.

1.2 Contexto: Projeto de Motores de Combustão Interna

A constante inserção de novos produtos no mercado exige das empresas uma otimização de seus tempos de desenvolvimento de projeto, manufatura e apresentação para os clientes. Empresas e projetistas distintos, características e saberes diferenciados desenvolvem produtos similares para executarem as mesmas tarefas. Ao desenvolver uma metodologia de projeto deve-se cuidar para não ser específico ou generalista ao extremo, para que a grande maioria possa usufruir deste conhecimento. E segundo Leite (2007, p. 23), “Cada uma terá suas peculiaridades que serão o resultado da fusão da metodologia com sua cultura própria.”.

O desenvolvimento de um novo produto pode fazer com que a empresa logre êxito no seu intento, conquistando uma fatia de mercado, clientes e prestígio. Mas o mesmo produto, se mal planejado, pode trazer desastres significantes para empresa e prejudicar a sua marca. Conforme Baxter (2011), vários fatores determinam o êxito ou fracasso de novos produtos, entre estes destaca-se a forte diferenciação do produto em relação aos concorrentes por meio de características que são valorizadas pelo consumidor, realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica antes da etapa de desenvolvimento, envolvendo materiais, componentes e processos produtivos disponíveis. Por fim, mas não menos importante, manter a alta qualidade nas atividades técnicas do desenvolvimento do novo produto está relacionada com o entrosamento e conhecimento técnico da equipe envolvida no desenvolvimento.

Incertezas e riscos fazem parte do processo de desenvolvimento de produto, principalmente de produtos complexos, mas estes riscos e incertezas podem ser minimizados com a utilização de processos previamente definidos e organizados que guiarão as decisões dando maior segurança aos projetistas e descartando completamente as improvisações.

Considerando os motores, sistemas complexos, estes são os elementos que produzem a energia necessária à propulsão dos automóveis convertendo a energia química dos combustíveis em energia mecânica e perdas.

De acordo com Brunetti (2012a), os motores podem ser classificados conforme o comportamento do fluido de trabalho, em motores de combustão interna, quando o fluido de trabalho participa diretamente da combustão e motores de combustão externa, quando o fluido de trabalho não participa diretamente da combustão.

As formas de se obter trabalho útil nos motores e combustão interna também recebe uma classificação.

Motores alternativos: quando o trabalho é obtido pelo movimento de vaivém de um pistão, transformando em rotação contínua por um sistema biela-manivela.

Motores rotativos: quando o trabalho é obtido diretamente por um movimento de rotação. São exemplos: turbina a gás e motor Wankel.

Motor de impulso: quando o trabalho é obtido pela força de reação exemplo: motor a jato e foguetes. (BRUNETTI, 2012a, p. 28).

Para ocorrer a combustão nos motores é necessária uma iniciação desta combustão, que é chamada de ignição; e esta pode ser dividida em dois tipos: ignição por centelha e ignição espontânea.

A ignição por centelha ocorre nos motores Otto, nesse motores a mistura ar-combustível segundo Brunetti (2012a, p. 34), “é inflamada por uma faísca que ocorre entre os eletrodos de uma vela.”. Já nos motores de ignição espontânea ou ciclo Diesel, o ar é comprimido e após injeta-se o combustível que reage com o oxigênio sem necessidade de uma centelha.

Percebe-se que além destas características, tem-se muitas outras que devem ser levadas em consideração ao projetar um motor de combustão interna, por este motivo é importante a sistematização do conhecimento para tal fim.

1.3 Foco: Sistematização de Conhecimentos para o Projeto de Motores de Combustão Interna

Baseado em Ferreira (2010), pode-se definir modelo como aquilo que pode ser reproduzido, que serve de exemplo ou norma, que serve de objeto de imitação. E define-se referência como aquilo que se pode reportar, que dá direção ou esclarecimento.

Em seu trabalho Romano (2013, p. 130), destaca que, “o desenvolvimento de modelos de referências permite a compreensão das informações do ciclo de vida do produto, bem como

do emprego integrado de métodos e ferramentas de auxílio ao projeto e ao seu gerenciamento, estabelecendo uma visão detalhada e integrada do trabalho a ser realizado.”.

A sistematização, segundo Ferreira (2010), é tornar sistemático, que segue um sistema, ordenado, metódico. Com isso, a sistematização do conhecimento para o projeto de motores de combustão interna objetiva ordenar, apresentar de forma metódica os conhecimentos acumulados na literatura específica sobre motores para auxiliar os projetistas, pesquisadores e estudantes na solução de problemas referentes ao projeto de motores de combustão interna.

1.4 Formulação do problema da dissertação

Com base no explanado anteriormente, apresenta-se o seguinte problema de pesquisa:

Como sistematizar o processo de projeto de motor de combustão interna, com o propósito de auxiliar, principalmente os estudantes de engenharia, a desenvolver este produto?

1.5 Objetivos

Para solucionar a problemática apresentada, segmentou-se a presente dissertação em objetivos para operacionalização da pesquisa e esclarecer sobre os resultados esperados. Serão apresentados, os objetivos, na forma de geral e específicos.

1.5.1 Objetivo Geral

Propor uma metodologia para o processo do projeto de motores de combustão interna.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar os fatores de influência determinantes para o projeto de motores de combustão de combustão interna;
- Definir uma estrutura para a proposta da metodologia;
- Modelar o processo para o projeto de motores de combustão interna;
- Avaliar a metodologia desenvolvida por meio de questionário.

1.6 Classificação da presente pesquisa

A curiosidade dos indivíduos gera uma agitação mental e proporciona várias formas de expressão, dentre estas formas, uma é o resultado de pesquisas realizadas por estes seres muitas vezes considerados inquietos ou inconformados com as respostas de alguns problemas.

Para amenizar esse descontentamento construtivo, o homem investe seus esforços na realização de pesquisas, e conforme Gil (2010, p. 1) pesquisa pode ser definida, "...como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos.”.

Por sistemático entende-se conforme Ferreira (2010, p. 704), “1. Relativo a, ou que segue um sistema. 2. Ordenado, metódico.”, então para classificar as pesquisas tem-se orientações para um melhor entendimento e organização destas.

As pesquisas são classificadas, no Brasil, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) conforme a área do conhecimento, em sete grandes áreas. As grandes áreas são subdivididas em áreas, e estas últimas são subdivididas em subáreas. As subáreas são divididas em especialidades. A presente dissertação está classificada, segundo o CNPq, grande área como Engenharias - 3, área do conhecimento como Engenharia de Produção -08, subárea como Engenharia do Produto - 03, e especialidade como Metodologia do Projeto do Produto - 02. A codificação expressa pelo conselho apresenta-se da seguinte forma, 3.08.03.02-0.

Segunda a sua finalidade a pesquisa pode ser básica ou aplicada, a primeira é apresentada por Gil (2010, p. 26) como aquela que, “reúne estudos que tem como propósito preencher uma lacuna no conhecimento.”, e a segunda é expressa também por Gil (2010, p. 26) tendo como finalidade, “...resolver problemas identificados no âmbito das sociedades em que os pesquisadores vivem.”.

De acordo com seus objetivos mais gerais a pesquisa pode ser classificada em exploratória, descritiva e explicativa. Expresso por Gil (2010, p. 27), “As pesquisas exploratórias têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses.”.

Conforme os métodos empregados, a pesquisa possui classificações, e uma destas classificações é a pesquisa bibliográfica, que conforme Gil (2010, p. 29), “A pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado.”. Sendo que atualmente estas formas de material publicado podem ser impressos ou em formato digital.

Neste trabalho realizar-se-á, conforme a classificação, uma pesquisa aplicada, exploratória e bibliográfica.

1.7 Contribuições da Dissertação

Como contribuição do presente trabalho se tem a organização dos conhecimentos sobre projeto de motores de combustão interna e boas práticas de projeto de produto com o objetivo de apresentar uma metodologia que auxilie os acadêmicos dos cursos de engenharia.

Apresentando um conjunto de fases e tarefas para aplicações didáticas nas disciplinas de projeto de motores, metodologia de projeto e projeto de produto, operando como uma ferramenta de exemplificação e auxílio na construção do conhecimento nestas áreas de projeto. Assim como apoiar os projetistas de motores nas decisões de projeto. E com isso, contribua para a transformação de conhecimentos e experiências dos recursos humanos, no recurso físico motor.

1.8 Organização dos capítulos da dissertação

O trabalho está organizado em capítulos sendo estes apresentados da seguinte forma que segue.

O Capítulo 1 inicialmente aborda a classificação da presente pesquisa, são apresentados o tema, o contexto e o foco da dissertação. Também os objetivos gerais, objetivos específicos e a problemática que foi solucionada.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica, primeiramente sobre motores de combustão interna, logo após sobre o projeto destes motores, seguindo descreve-se sobre a sistematização do conhecimento para estes projetos e por fim aborda-se sobre o controle das emissões de poluentes.

O Capítulo 3 explicita sobre a abordagem metodológica utilizada na pesquisa para se alcançar os objetivos gerais e específicos.

O Capítulo 4 é apresentado a metodologia de projeto de motor de combustão interna – PMCI, com a apresentação e explicação das suas fases.

O Capítulo 5 trata do desenvolvimento da planilha do PMCI e da sua forma de utilização.

O Capítulo 6 aborda sobre a avaliação da planilha, a elaboração do questionário e sobre o resultado da avaliação realizada pelos respondentes.

Já o Capítulo 7 trata das considerações finais da dissertação.

Com isso o presente trabalho divide-se em 7 capítulos conforme brevemente explicados anteriormente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Motores de Combustão Interna

A evolução do ser humano está baseada na sua capacidade de locomoção, desde os seus primórdios, a habilidade de se deslocar a distâncias maiores e em menores tempo auxiliou e proporcionou o desenvolvimento da humanidade.

Primeiramente utilizando seus próprios pés para movimentar-se, realizando a caça para sua subsistência, logo após com a domesticação dos animais agilizando o seu percurso e táticas de predador. O desenvolvimento de ferramentas e equipamentos para diminuir o esforço físico e agilizar o processo de obtenção de alimentos evoluiu significativamente com a ampliação da capacidade de pensar e raciocinar do ser humano.

Com a mobilidade utilizando equipamentos mecânicos não foi diferente, começando com a invenção da roda que segundo Vieira (2008, p. 19), “A roda é o resultado natural de uma grande solução para o problema de transportar objetos pesados demais para serem carregados”, também o surgimento de um elemento para ligar duas rodas lado a lado, o eixo. Começam os primeiros expoentes de veículos sobre rodas utilizando a força de tração humana ou animal para locomover-se.

Incentivados pela vontade de expansão ou manutenção territorial, grande parte dos esforços em desenvolvimento de equipamentos se deu pelas guerras, lanceiros utilizavam bigas¹ com rodas como armas de guerra e conforme Vieira (2008, p. 20) “Os arqueiros e lanceiros conseguem uma mobilidade e uma velocidade que geram pavor em seus inimigos.”. Veículos com rodas também passaram a ser utilizados por pessoas com alto poder aquisitivo, altas castas, que eram transportadas utilizando a força de seus escravos e servos.

Os veículos permaneceram durante longos anos sendo movimentados principalmente pela força humana ou animal, mas a aplicação da inteligência humana em busca de novos meios

¹ Bigas eram veículos sobre duas rodas puxados por força animal e conduzidos por guerreiros nos campos de batalhas.

de transporte e locomoção continuou evoluindo. Para substituir a força muscular humana ou animal é necessário um elemento que realize tal tarefa, este é o motor.

O motor é uma máquina térmica, pois converte a energia térmica resultante da combustão, em energia mecânica útil. Martins (2006) apresenta de forma estruturada a classificação das máquinas térmicas indicada na Figura 2.

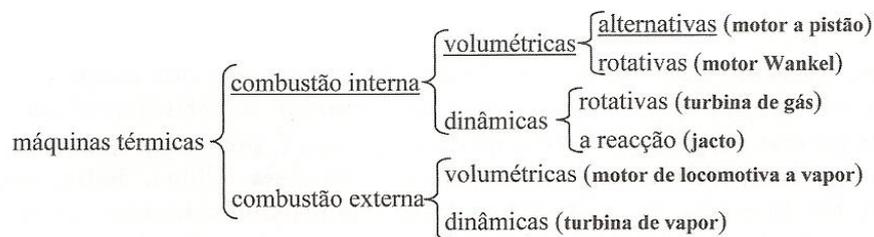


Figura 2 - Classificação das máquinas térmicas

Fonte: Martins (2006)

Tem-se o motor de combustão externa, este sendo criado e patenteado pelo escocês Robert Stirling. O processo de deslocamento do pistão ocorre devido ao contínuo aquecimento e resfriamento do ar dentro do cilindro e com isso gerando força.

Basicamente, o Stirling é um motor de combustão externa, como o motor a vapor e o rankine: o combustível é queimado fora da câmara, dentro da qual um gás é sucessivamente aquecido e esfriado, gerando expansão e contração, movimentando, alternadamente, um pistão dentro da câmara. (VIEIRA, 2008, p.83).

Com a realização de corridas automotivas, os motores de combustão interna mostram suas qualidades superiores aos demais motores, maior autonomia e velocidade, tornando estes veículos desejáveis, conforme indica Vieira (2008, p. 283), “...demonstram claramente a superioridade do motor de combustão interna sobre qualquer outra forma de propulsão...”. E nesta época, as velocidades alcançadas são significativas conforme afirma Vieira (2008, p. 295), “Em 5 de novembro de 1903, Arthur Duray pilota um Gobron-Brillie em Dourdan, na França,

e bate novo recorde mundial de velocidade: 136 km/h.”. A Figura 3 mostra o carro responsável por tal façanha no início do século XX.

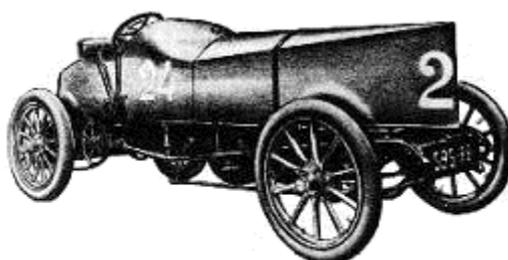


Figura 3 - Gobron-Brillié que atinge 136 km/h, movido por MCI

Fonte: Vieira (2008)

Conforme expresso no Capítulo 1, os motores de combustão interna são responsáveis pela transformação da energia proveniente da queima da mistura ar e combustível em trabalho útil. Além deste trabalho produzido tem-se as perdas inerentes ao processo na forma de calor e emissões.

Para se produzir o trabalho desejado é necessário que o motor seja alimentado com ar e combustível, como resultado deste processo de geração de trabalho tem-se calor e emissões de gases resultantes da queima do combustível. Martins (2006) salienta que o motor de combustão interna utiliza do aumento da pressão resultante da combustão da mistura ar-combustível para realizar o movimento de rotação no virabrequim.

Nos motores de combustão interna a mistura ar e combustível participa diretamente da combustão, sendo esta combustão iniciada por uma centelha, motores de ignição por centelha – MIC (ciclo Otto), ou pela elevação da pressão dentro da câmara de combustão, motores de ignição espontânea – MIE (ciclo Diesel). (BRUNETTI, 2012; MARTINS, 2006).

Segundo Heywood (1988), os motores de combustão interna surgiram em 1876 quando Otto desenvolveu o primeiro motor de ignição por centelha. Vieira (2008) expressa que o conceito do motor de quatro tempos com compressão foi apresentado em 1862 pelo francês Eugène Alphonse Beau de Rochas e Brunetti (2012) completa dizendo que o aperfeiçoamento

dos motores de combustão interna com ignição por centelha deve-se a Nikolaus August Otto em 1876. Tamanha a importância dos aperfeiçoamentos faz com que os motores sejam conhecidos por motores de ciclo Otto.

Já os motores de ignição espontânea são datados de 1892 conforme indicam Heywood (1988) e Brunetti (2012a) que este motor foi desenvolvido por Rudolf Christian Karl Diesel. Vieira (2008, p. 177) diz que, “O princípio em que se baseia é de gerar calor a temperaturas tão altas que a mistura se autoqueima.”.

Após o desenvolvimento de Otto, Heywood (1988) afirma que muitos engenheiros desenvolveram um motor de combustão interna de dois tempos, no qual o processo de admissão e exaustão ocorre no início do ciclo de compressão e no final do ciclo de potência. Surge também o projeto do inventor alemão Felix Wankel, um motor de combustão interna rotativo que após muito tempo de pesquisa e desenvolvimento se tornou realidade após o ano de 1957, Heywood (1988).

Nos anos de 1952 conforme Heywood (1988), fica evidente o problema da poluição causada pelos motores de combustão interna, sendo que os automóveis eram os principais responsáveis pelas emissões de hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio e pelos altos acúmulos de monóxido de carbono nas áreas urbanas. Os motores Diesel também têm sua participação com a emissão de partículas sólidas. Os estudos fizeram com que fossem adotadas normas para as emissões primeiramente na Califórnia e posteriormente em todo território dos Estados Unidos no início dos anos de 1960.

Nos anos de 1970 com o aumento do preço do petróleo, e exigência por motores mais eficientes e a intensificação das políticas de controle de emissões, fez com que se buscasse combustíveis alternativos como o gás natural, metanol e etanol. Heywood (1988).

Existem vários tipos de motores de combustão interna, e para melhor organização Heywood (1988) classificou os motores segundo suas características físicas principais, no Quadro 1 pode-se observar a organização segundo o autor citado. Nota-se que é salientado dez itens para a classificação dos motores de combustão interna.

Classificação dos Motores de Combustão Interna	
1º Aplicação	automóveis, caminhões, aviões leves, marítimo, sistemas móveis de potência e geração de energia.
2º Projeto Básico do Motor	motores alternativos (subdivididos pelo arranjo dos cilindros em linha, V, radial, opostos), rotativos (Wankel e outras geometrias).
3º Ciclo de Trabalho	motor 4 tempos: aspirado naturalmente, superalimentado e turboalimentado. Motor 2 tempos: alimentado pela pressão do cárter, superalimentado e turboalimentado.
4º Localização e desenho da válvula	válvulas acima do cabeçote, válvulas abaixo do cabeçote, válvulas rotativas, duas ou mais válvulas por cilindro, etc...
5º Combustível	gasolina, óleo diesel, gás natural, metanol, etanol, hidrogênio, flexíveis, bicombustível, etc...
6º Método de Preparação da Mistura	carburetos, injeção de combustível na admissão, injeção de combustível na câmara de combustão.
7º Método de Ignição	ignição por faísca (motores ciclo Otto), ignição por compressão (motores ciclo Diesel).
8º Projeto da Câmara de Combustão	câmara aberta e câmara dividida.
9º Método do Controle da Carga	controle da mistura (ar+combustível), controle apenas do combustível, ou combinação destes.
10º Método de Arrefecimento	arrefecimento por água, ar ou arrefecimento natural.

Quadro 1 - Classificação dos motores de combustão interna

Fonte: Adaptado de Heywood (1988), tradução nossa

A classificação mostra a grande faixa de aplicação dos motores de combustão interna sendo que a escolha do tipo de combustível pode ser classificada como uma das mais relevantes no momento de escolha do projeto.

Já em seu livro, Martins (2006) classifica os motores de combustão interna alternativos segundo alguns fatores, tais como:

- a) ciclo de operação (ciclo Otto, ciclo Diesel...);
- b) colocação ou desenho das válvulas (laterais, à cabeça...);
- c) combustível utilizado (gasolina, óleo diesel...);
- d) método de carga (aspirado, sobrealimentado);

- e) tipo de injeção (direta, indireta);
- f) preparação da mistura (carburador, injeção);
- g) tipo de ignição (por faísca, por compressão);
- h) arrefecimento (líquido, ar);
- i) geometria dos cilindros (monocilíndrico, em linha, em V...).

Na sequência da classificação, Martins (2006, p. 5) enfatiza que, “Todos estes pontos explicitam os motores, mas muitos outros poderiam ser especificados, tais como a aplicação do motor, pois pode-se usá-lo para tracionar veículos (carros, caminhões, comboios), mas também em aviões e barcos ou para produzir energia mecânica (ar comprimido) ou eletricidade”.

Conforme Ferreira (2010, p. 703), pode-se definir sistema como, “Conjunto de elementos, entre os quais haja alguma relação. Disposição das partes ou dos elementos de um todo, coordenados entre si, e que forma estrutura organizada.”. Considerando o motor um sistema complexo, tem-se vários elementos que fazem parte deste todo, estes elementos estão relacionados entre si e desenvolvem funções específicas e previamente definidas. A perfeita sincronização das funções destes elementos, fazem com que o sistema funcione corretamente.

Tendo-se o motor de combustão interna como elemento central, o esquema da Figura 4 mostra os elementos principais de um motor de combustão interna.

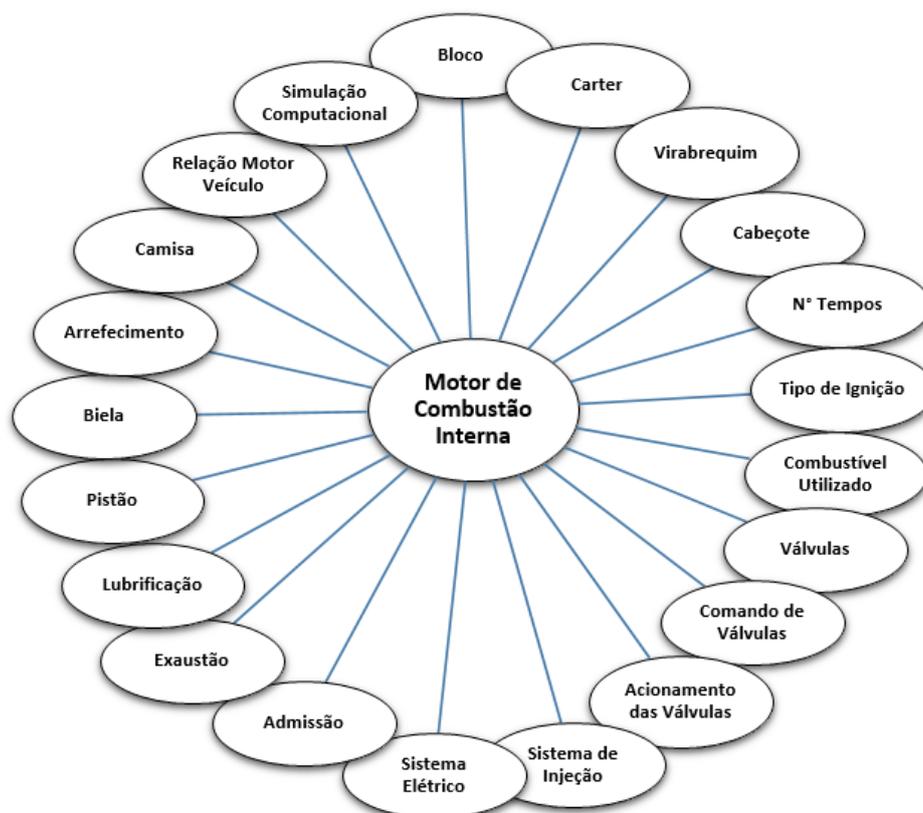


Figura 4 - Elementos de um motor de combustão interna

Fonte: Adaptado de Martins (2006)

O bloco do motor é o elemento estrutural responsável por acomodar os cilindros e também fornecer resistência mecânica ao conjunto. Segundo Pulkrabek (1997), o bloco é o corpo do motor que contém os cilindros. Funcionando como reservatório do óleo lubrificante, o cárter é afixado no bloco e geralmente é posicionado na parte inferior do motor. Virabrequim ou girabrequim é responsável por receber movimento alternativo dos pistões e entregar o movimento rotativo.

Cabeçote do motor é a parte que cobre os cilindros, possuidor dos dutos de admissão e exaustão, e o compartimento onde ocorre a queima do combustível, a câmara de combustão. O motor pode ser a quatro tempos, no qual o virabrequim realiza duas voltas e o pistão quatro cursos para completar um ciclo. Na Figura 5, pode-se ver os quatro tempos de um motor alternativo, na letra A é o tempo de admissão, B o tempo de compressão, C o tempo de expansão e D o tempo de exaustão.

No tempo de admissão, o movimento do pistão no sentido contrário da câmara de combustão, provoca uma depressão que succiona a mistura ar/combustível para o interior da câmara de combustão. O próximo tempo é o de compressão, no qual o movimento do pistão de encontro ao cabeçote provoca a compressão da mistura. Já no tempo de expansão, ocorre a combustão da mistura que eleva a temperatura e pressão dentro da câmara, fornecendo energia necessária para a movimentação do pistão e gerando trabalho útil. Na sequência ocorre o tempo de exaustão, onde se abre a válvula de exaustão e os gases provenientes da queima do combustível são expelidos devido o movimento de aproximação do pistão com as válvulas de exaustão.

O motor que possui mais de um pistão, os tempos de cada pistão são alternados entre os pistões, mas cada pistão realiza sequencialmente e sincronizadamente os tempos. Ocorre a alternância para que não ocorra uma sobre carga no virabrequim ao coincidir os tempos de expansão.

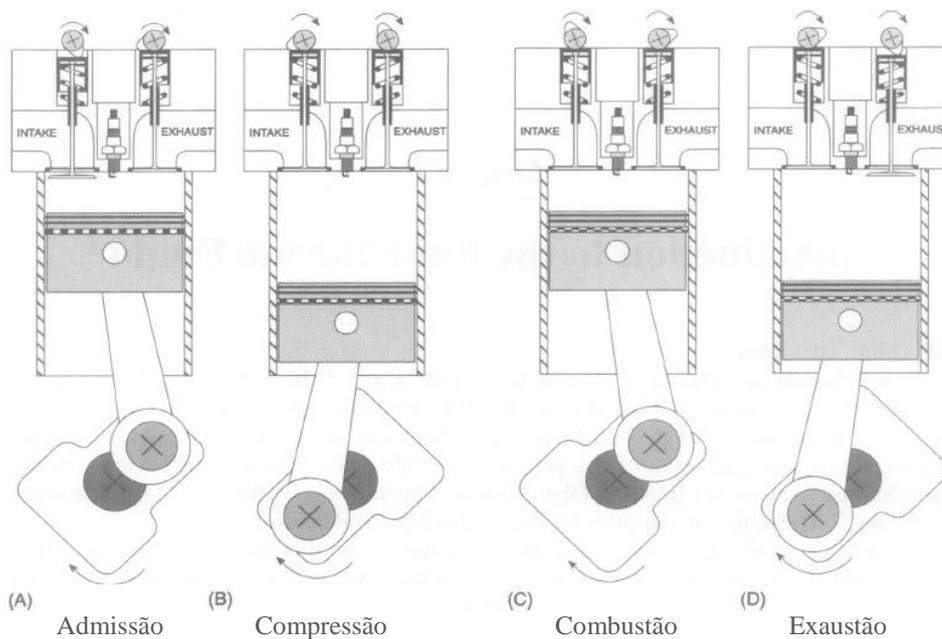


Figura 5 - Tempos de um motor alternativo a quatro tempos.

Fonte: Blair (1999), tradução nossa

O motor também pode ser a dois tempos, no qual é necessário uma volta do virabrequim e dois cursos do pistão para realizar um ciclo. Segundo Heywood (1988), o motor a dois tempos pode ser de ignição por faísca e de ignição por compressão. Neste tipo de motor ocorre uma simultaneidade de tempos conforme mostra a Figura 6.

No primeiro tempo (a), após a expansão o pistão é deslocado para baixo comprimindo a mistura no cárter e desbloqueia a saída dos gases pela janela B, logo abre a admissão C que comunica o cárter com a câmara de combustão, preenchendo esta última. Conforme Brunetti (2012a), a simultaneidade de B e C abertas pode provocar a união da mistura nova com os gases de exaustão. Na sequência, já no segundo tempo, o pistão eleva-se desobstruindo A (entrada do combustível com lubrificante), fechando C e B, comprimindo a mistura e recomeçando o processo.

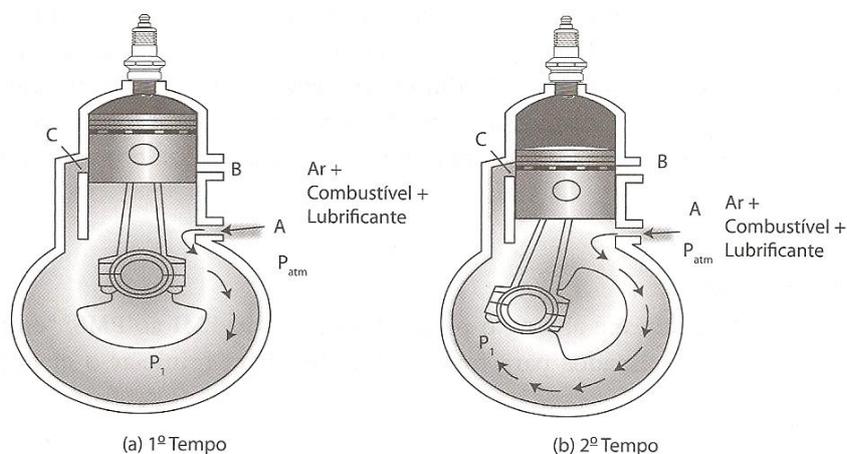


Figura 6 - Motor a 2T de ignição por faísca.

Fonte: Brunetti (2012a)

Quanto a ignição, o motor pode ser classificado em motores de ignição por faísca, *spark ignition* (SI), no qual a combustão é iniciada pelo elemento gerador de faísca. Pode ser também motores de ignição por compressão, *compression ignition* (CI), em que o processo de combustão se inicia ao vaporizar combustível no ar comprimido a alta temperatura, Pulkrabek

(1997). Os motores SI são chamados de ciclo Otto e os motores CI são chamados de ciclo Diesel.

Os combustíveis utilizados nos motores de combustão interna podem ser os derivados do petróleo, como óleo diesel, gasolina, querosene e gás combustível, os não derivados do petróleo como álcoois, éteres, óleos vegetais, gorduras animais, biodiesel entre outros, Brunetti (2012a).

As válvulas do motor são responsáveis pelo fluxo do combustível para dentro e para fora da câmara de combustão, as válvulas de admissão recebem o fluido a ser trabalhado, permitindo a comunicação do cilindro com o sistema de alimentação, e as válvulas de exaustão expurgam os gases resultantes permitindo que estes saiam do cilindro. São acionadas pelo comando de válvulas que está sincronizado com o movimento do virabrequim, com isso se faz as aberturas e fechamentos nos momentos específicos. O sistema de acionamento das válvulas pode ser feito diretamente pelo comando de válvulas, ou por balancins. Cada cilindro tem no mínimo duas válvulas, sendo uma de admissão e uma de exaustão, podendo apresentar mais válvulas, desde que suportado pelo projeto e pela geometria, Martins (2006).

A alimentação de um motor de combustão interna é composta pelo combustível e pelo ar em proporções adequadas, a relação ar/combustível proporciona características que possibilita classificar as misturas conforme indicado por Pulkrabek (1997), que a combustão pode ocorrer, para a devida quantidade de combustível, quando apresenta-se mais ar do que a mistura estequiométrica sendo chamada de mistura pobre, ou quando possui menos ar do que a mistura estequiométrica sendo chamada de mistura rica. Esta relação é chamada de λ (lambda), que é a relação entre as massas de ar e de combustível apresenta-se resumida no Quadro 2.

Relação λ=massa Ar/massa Combustível	
$\lambda < 1$	Mistura Rica
$\lambda = 1$	Mistura Estequiométrica
$\lambda > 1$	Mistura Pobre

Quadro 2 - Relação de massa de Ar/massa de Combustível

Fonte: Pulkrabek (1997)

Além das massas dos combustíveis é importante levar em consideração a homogeneidade da mistura admitida, conforme Brunetti (2012a, p. 450), “... o comportamento da mistura não depende apenas da sua composição média, mas principalmente da homogeneização do vapor de combustível no ar.”.

Primeiramente o controle da vazão de ar e combustível nos motores utilizavam apenas carburadores, que são elementos mecânicos responsáveis por dosar a quantidade de combustível conforme a passagem de ar pelo duto de admissão. Com a necessidade de controles mais eficazes das misturas, surge a aplicação dos sistemas de injeção de combustível. Nos motores atuais a injeção eletrônica é controlada por uma unidade de gerenciamento do motor, do inglês *Engine Control Unit* – ECU. A ECU é responsável por receber dados de entrada como temperatura e volume do ar admitido, posição da borboleta, temperatura do motor, pressão de combustível, entre outros, com o objetivo de dosar a quantidade de combustível a ser disponibilizada para a combustão através da abertura de uma eletroválvula. (BRUNETTI, 2012; MARTINS, 2006).

O sistema elétrico do motor é responsável por receber, controlar e distribuir a tensão necessária para o funcionamento dos sensores, indicadores e atuadores elétricos. Heywood (1988) ressalta, que nos motores de ignição por centelha, após a compressão da mistura ar-combustível, uma descarga elétrica inicia o processo de combustão. Faz parte do sistema elétrico, o chicote que é o elemento que interliga todas as partes do sistema. Pode-se fazer uma analogia com a medula espinhal do ser humano.

A admissão do combustível é realizada pelo sistema de admissão que conduz a mistura até a câmara de combustão, posterior a queima do combustível. O sistema de exaustão é responsável por eliminar os gases liberados na combustão. Conforme Heywood (1988) o sistema de escape consiste de um coletor de escape, tubo de escape, catalisador para controle de emissões e um silenciador.

O sistema de lubrificação é responsável por fornecer os lubrificantes adequados em todas as partes móveis do motor e em todos os locais onde haja a necessidade de uma lubrificação para minimizar os desgastes e também controlar a temperatura. Como reservatório do sistema de lubrificação tem-se geralmente o cárter, no qual uma bomba de óleo faz circular o lubrificante para entrar em contato com as partes em atrito. Segundo Pulkrabek (1997), existe três tipos básicos de sistemas de lubrificação nos motores: por salpico, pressurizado e combinação destes.

A união do virabrequim, biela, pistão e camisa, faz do movimento alternativo o movimento rotativo. O pistão percorre o seu deslocamento dentro da camisa do ponto morto superior (PMS), até o ponto morto inferior (PMI). Conforme expresso por Blair (1999), o movimento do pistão é controlado pela rotação do virabrequim que é conectado na biela. Resultante deste movimento tem-se o volume deslocado pelo pistão dentro da camisa.

O sistema de arrefecimento é responsável por controlar a temperatura do motor, sendo que o atrito e a combustão geram calor necessário para danificar o sistema, havendo a necessidade da dissipação desta energia, e Martins (2006, p. 121) argumenta que, “Esta quantidade de calor tem de ser retirada do motor, pois de outro modo as temperaturas dos materiais elevar-se-iam até valores que impossibilitariam a sua operação”. Item importante a ser considerado no projeto é a relação do motor com o veículo ao qual será empregado, questões de vibração, fixação e proteção são fundamentais. (BRUNETTI, 2012).

Com intuito de minimizar e também antecipar problemas nos protótipos físicos, usa-se de protótipos virtuais, que com o uso de simulação computacional corrige-se vários equívocos na fase de projeto. (ALVES, 2007).

Desta forma, a união e sincronização dos elementos descritos, faz com que o sistema funcione corretamente e forneça a potência necessária para o tipo de aplicação. O desenvolvimento tecnológico, as exigências com relação aos poluentes e consumo de combustíveis, fez com que evoluísse significativamente a parte de sensoriamento, aquisição e análise de informações sobre o funcionamento dos motores. Fazendo com que a quantidade de componentes seja variável de motor para motor.

2.2 Projeto de Motores de Combustão Interna

A competitividade do mercado, o aumento das vendas de veículos automotores, exige das empresas do ramo uma agilidade, competência e qualidade para colocar no mercado produtos competitivos e com custos satisfatórios.

Os clientes estão desenvolvendo exigências com relação aos produtos ofertados, somado a isso, as exigências de normas e legislações nacionais que solicitam dos projetistas habilidades de projetos e gerenciais fundamentais para a obtenção destes produtos competitivos.

Os motores de combustão interna são dominantes nos veículos automotores. Segundo o Denatran, em 2014 foram emplacados mais de quatro milhões de veículos no Brasil, totalizando uma frota nacional maior que oitenta e sete milhões de veículos até fevereiro de 2015. Para gerar a demanda desta oferta crescente, as empresas devem aprimorar-se e também aprimorar suas formas de desenvolvimento de produtos.

O portfólio de motores das empresas sejam montadoras de automóveis, sejam caminhões, tratores, motocicletas, navios ou fabricantes independentes, requer constante evolução para atender às demandas do mercado: competitividade, custo, aprimoramento tecnológico, adequação às leis de emissões gasosas e de ruído, desempenho ou outras necessidades específicas. (BRUNETTI, 2012b, p. 427).

Para lançar um motor de combustão interna no mercado, deve-se entender e definir as necessidades deste mercado, conhecer o cliente alvo e as tendências tecnológicas atuais. A compactação dos motores, visando a redução de massa e custo faz parte do processo de desenvolvimento, exigindo habilidades dos projetistas para realizar o chamado *downsizing*.

A injeção eletrônica tem trazido avanços significativos na eficiência dos motores tanto do ciclo Otto, como do ciclo Diesel e apresentado um aumento no rendimento térmico conforme explicita Brunetti (2012b), que os motores evoluíram de menos de 5% de rendimento em 1900 para os atuais 32% em MIC à gasolina, 38% nos MIC a etanol e 52% em MIE.

Estudos realizados pela área de Pesquisa e Desenvolvimento trazem inovações constantes e significativas para os motores e que são amplamente exploradas pelo setor de marketing para vender o produto. Para vender o produto tem-se a necessidade de desenvolver

este produto com todas as características que o tornem competitivo, para tornar-se competitivo o produto deve possuir atratividades que superem os concorrentes e também despertar o desejo de posse no cliente final. Outro motivo alavancador das vendas é que o produto serve para suprir uma necessidade do usuário. (BAXTER, 2011; BRUNETTI, 2012b, LEITE, 2007).

Para que o produto seja atrativo, competitivo, desejado e necessário deve-se investir tempo em seu desenvolvimento. Segundo Back et al. (2008, p. 7), “Para desenvolver um produto com eficiência e eficácia, é necessário saber o que fazer, para quem fazer, quando fazer, com que fazer e como fazer.”. Definir tais pontos destacados exige tempo de desenvolvimento para melhor adequação dos requisitos e alcançar o produto competitivo. Shigley (2005, p. 26) destaca que “Projetar consiste tanto em formular um plano para a satisfação de uma necessidade específica quanto em solucionar um problema.”. Se o resultado for um produto físico, este deve ser funcional, seguro, confiável, competitivo, utilizável, manufaturável e mercável (Shigley, 2005). A Figura 7 ilustra características para que o produto tenha sucesso no mercado onde será inserido, quando mais destas características o produto tiver mais competitivo ele será.



Figura 7 - Características do produto ideal

A classificação dos produtos feita por Back et al. (2008), indica que pode-se ter produtos variantes de produtos existentes, inovativos e criativos. Sendo que os criativos necessitam de um maior tempo de desenvolvimento e um aporte financeiro elevado para as pesquisas e desenvolvimento.

Para se chegar ao produto esperado, tem-se a necessidade de realizar o projeto deste produto. Segundo o PMI® (2013), “Um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo.”.

Projeto é uma atividade predominantemente cognitiva, fundamentada em conhecimento e experiência, dirigida à busca de soluções ótimas para produtos técnicos, a fim de determinar a construção funcional e estrutural e criar documentos com informações precisas e claras para a fabricação. (BACK, et al. 2008, p. 6).

Manning (2012) esclarece que projeto em engenharia mecânica é o uso de princípios científicos, informações técnicas e imaginação para a definição de uma estrutura mecânica, máquina ou sistema para desempenhar funções pré-especificadas com o máximo de economia e eficiência. O autor também salienta que o processo de projeto em engenharia para um motor de combustão interna é uma mescla de complexos requisitos técnicos, comerciais e de marketing.

A etapa de projeto tem influência significativa na alocação e agregação dos custos do produto. O custo do projeto em virtude de sua capacidade de influenciar o custo final do produto é relativamente pequeno. Como se pode ver na Figura 8, o projeto apresenta um custo de 5%, mas tem capacidade de influenciar até 70% do custo final do produto.

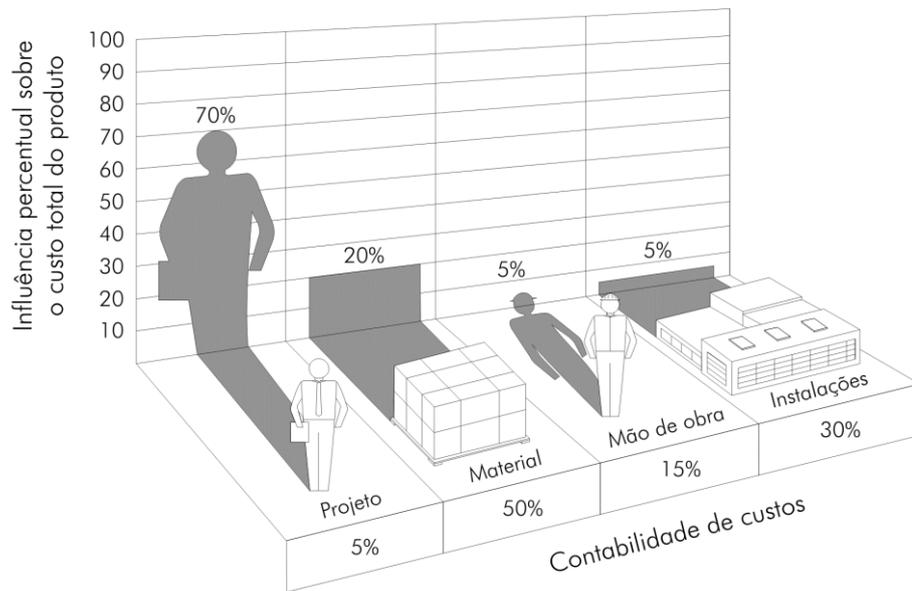


Figura 8 -Custo das etapas e influência no custo do produto

Fonte: Smith e Reinertsen (1991 apud BACK et al. 2008)

Tendo o projeto tamanha influência no custo do produto, destaca-se a importância desta etapa, assim como as alterações feitas nesta fase tem um custo menor se comparadas com alterações realizadas em etapas posteriores a de projeto. Estima-se que alterações feitas em fases avançadas tem o custo multiplicado por dez em cada fase subsequente. A Figura 9 elucida que seguindo essa lógica, uma alteração feita na etapa de lançamento teria um custo dez mil vezes maior que na fase inicial.

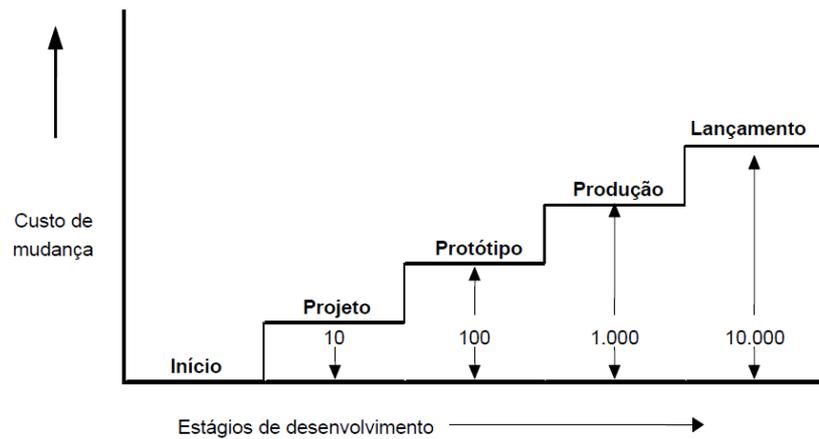


Figura 9 - Custo das alterações do produto nas respectivas fases

Fonte: Huthwaite e Schneberger (1992 apud BACK et al. 2008)

Na mesma linha de raciocínio, a Figura 10 mostra o crescente custo das alterações e também a diminuição das incertezas, os riscos e a influência das partes interessadas com o passar do tempo de projeto. No início do projeto os riscos são elevados, assim como as incertezas referentes as decisões a serem tomadas, mas a influência das partes interessadas é significativa nas fases iniciais podendo-se corrigir e contornar riscos identificados.

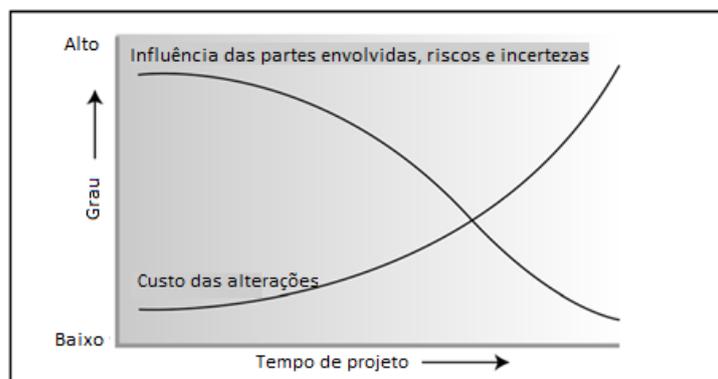


Figura 10 - Impacto do tempo nas variáveis de projeto

Fonte: PMI® (2013)

É notável a influência da fase de projeto no custo do produto, seja qual for este produto deve-se atentar para que na fase de projeto sejam identificados e minimizados todos os requisitos que podem gerar resultados negativos e identificados e maximizados todos os requisitos que podem gerar resultados positivos.

Sabendo-se da importância da fase de projeto, ressalta-se dois termos a serem diferenciados, que são o ciclo de vida do produto e o ciclo de vida do projeto. Entende-se como o ciclo de vida do produto todas as etapas que se compreendem desde sua iniciação até o seu descarte. Conforme Back et al. (2008, p. 5), "...ciclo de vida do produto significa a sequência de fases pelas quais se desenvolve o produto, desde a busca de oportunidades no mercado, o projeto, a fabricação, até o uso e o descarte.". Como pode-se observar, o ciclo do produto é bastante amplo e inerente as características do produto como por exemplo o ciclo de vida de uma agulha descartável e bem reduzido se comparado ao ciclo de vida de uma grande obra de arte.

Já o ciclo de vida do projeto são todas as fases referentes ao desenvolvimento do produto, que segundo o PMI® (2013), são as fases de início, preparação, execução e encerramento. O ciclo de vida do projeto está dentro do ciclo de vida do produto, conforme o indicado no PMI® (2013), geralmente o ciclo de vida de um projeto está contido em um ou mais ciclos de vida do produto. De forma resumida e esquemática, a Figura 11 mostra os ciclos descritos.

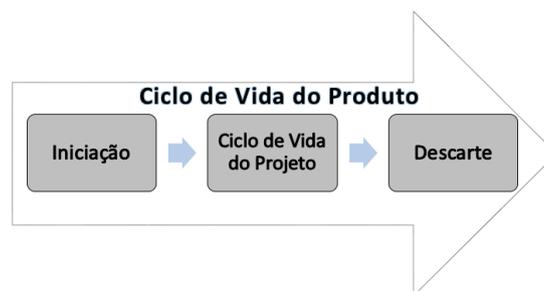


Figura 11 - Ciclo de vida do produto e ciclo de vida do projeto

Shigley (2005, p.31), destaca que “O processo completo de projeto, começa com o reconhecimento de uma necessidade e de uma decisão envolvendo fazer algo a respeito dela.”. Ocorrem iterações no decorrer do processo e este termina com a apresentação dos planos que satisfazem a necessidade.

No presente trabalho o foco está no ciclo de vida do projeto, que engloba o processo de desenvolvimento do produto e conforme Romano (2013), o processo de desenvolvimento de produto pode ser descrito por meio de macrofases e fases. O desenvolvimento de produtos engloba três macrofases denominadas Planejamento, Projetação e Implementação.

A macrofase de Planejamento engloba a fase de Planejamento do Projeto, a macrofase de Projetação reúne as fases de Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado. Já a macrofase de Implementação inclui as fases de Preparação da Produção, Lançamento e Validação. A Figura 12 esclarece o explanado indicando o processo, as macrofases que compõem o processo e as fases que compõem as macrofases.

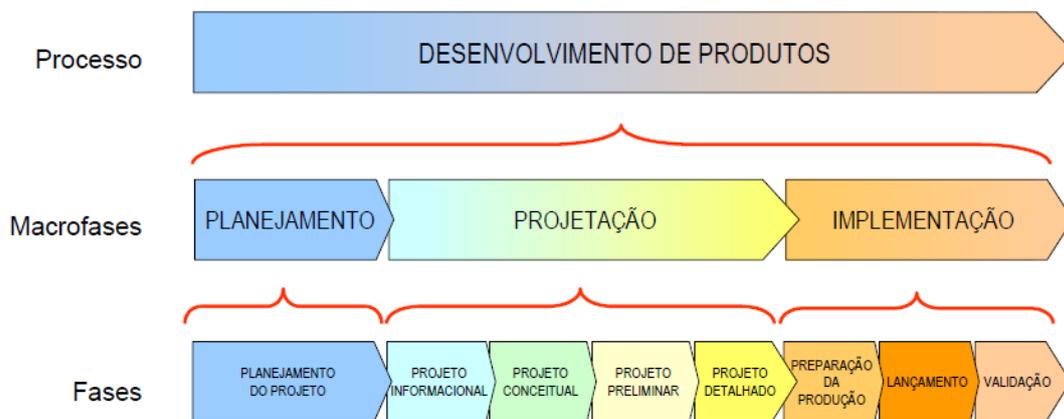


Figura 12 - Macrofases e fases do processo de desenvolvimento de produtos

Fonte: Romano (2013)

A apresentação de uma metodologia em fases proporciona uma segmentação do problema maior em problemas menores, focando-se a cada etapa para atingir os resultados esperados. Conforme o PMI® (2013), a estrutura de fases permite que o projeto seja

segmentado em subconjuntos lógicos para facilitar o gerenciamento, o planejamento e controle. O número de fases, a necessidade de fases e o grau de controle aplicado depende do tamanho, grau de complexidade e impacto potencial do projeto. Além de facilitar o gerenciamento, a apresentação do projeto em fases traz qualidade ao projeto e ao produto final, Back et al. (2008, p. 44), ressalta “...a importância em adotar práticas adequadas do desenvolvimento de produtos, procurando-se minimizar decisões empíricas ou por tentativa e erro”.

O processo de desenvolvimento de produtos pode ser aplicado para diferentes tipos de produtos com o uso de metodologias mais abrangentes, no qual o produto pode ser um bem físico ou um serviço. A sistematização do conhecimento pode proporcionar o desenvolvimento de uma metodologia específica para um tipo de produto, pode-se dizer que esta metodologia será aplicada principalmente para o desenvolvimento deste produto.

Com base nas informações que precedem, tem-se como produto um motor de combustão interna ao qual deseja-se sistematizar o conhecimento para auxiliar no projeto. Sabendo o produto que se deseja alcançar cabe aos responsáveis fazer o planejamento do produto, com todas as áreas envolvidas e partes interessadas. Quanto mais conhecimento se tiver sobre o produto, sobre a concorrência, sobre a capacidade intelectual e produtiva da empresa, maiores chances de sucesso terá o produto.

Para cada programa de produto, a centralização das informações e a comunicação com toda as atividades da montadora ocorrem de uma maneira organizada, garantindo a participação efetiva de todos os envolvidos com suas ideias, interesses e opiniões com o objetivo de se obter um processo transparente e coordenado. (LEITE, 2007, p. 71).

Na indústria automobilística onde se tem produtos complexos, com alta tecnologia embarcada é extremamente importante o processo de planejamento do produto, de acordo com Leite (2007, p. 76), “A atividade de planejar o produto é fundamental e obrigatória no processo de concepção e realização de programas na indústria automobilística.”.

Fazendo-se o planejamento do produto e aplicando-se uma metodologia adequada reduz-se significativamente os riscos inerente ao processo de desenvolvimento de produtos e conforme afirmação de Leite (2007, p. 86), “O sucesso de um programa veicular está sempre associado a uma metodologia, um processo, que conduz suas diversas fases a um final feliz. Quanto mais robusta essa metodologia, tanto maior a chance de sucesso.”

A necessidade de realizar um projeto de um motor de combustão interna pode surgir para a aplicação em automóveis, geração de energia, aplicações didáticas e estudos, ou outro motivo que crie essa demanda. Surgindo a necessidade do produto, cria-se o projeto do produto.

Para iniciar o processo de projeto deve-se ter informações básicas sobre o motor, ou seja, requisitos de clientes ou requisitos de projeto que auxiliam nas tomadas de decisões.

O desenvolvimento do motor deve receber os primeiros dados de entrada, sendo: potência; torque; consumo; adequação a normas e conseqüentemente, o nível de emissões sonora, gasosa e particulados; dimensões básicas; arranjo e configuração; sobrealimentação; tipo de combustível; peso e durabilidade (vida esperada). (BRUNETTI, 2012b, p. 428).

Definir o tipo de aplicação do motor de combustão interna, o tipo de combustível vai definir o ciclo do motor se é ciclo Otto ou ciclo Diesel, informações como peso, máximo volume ocupado e interação do motor com o veículo servem de subsídios para a equipe de projeto dar andamento ao desenvolvimento.

Brunetti (2012), afirma que o processo de desenvolvimento dos motores de combustão interna é baseado nas propostas estabelecidas pelo planejamento estratégico das empresas. Conforme ao mesmo autor, a etapa ou a fase de projeto de motores pode ser sequenciada pelas seguintes atividades:

- a) análise de mercado, portfólio, tecnologia, fornecedores e concorrência;
- b) conceituação do produto e envelope;
- c) análise preliminar de desempenho;
- d) projeto do sistema de combustão;
- e) projeto estrutural do bloco;
- f) projeto do trem de força;
- g) projeto do absorvedor de vibrações torcionais;
- h) projeto do sistema de comando de válvulas;
- i) projeto do sistema sincronizados;
- j) projeto do sistema de acessórios e agregados;
- k) projeto do volante de inércia;
- l) projeto do sistema de partida;
- m) projeto de suportes e coxins;

- n) projeto virtual;
- o) pesquisa e desenvolvimento do produto;
- p) lançamento do produto e pós venda.

Em seu livro do ano de 1931, Harry R. Ricardo indica pontos que devem ser levados em consideração para o projeto mecânico de um motor de combustão interna, os itens destacados são:

- a) projeto de materiais;
- b) cárter;
- c) bloco do cilindro;
- d) virabrequim;
- e) balanceamento do virabrequim;
- f) desgaste do virabrequim;
- g) bielas;
- h) pino do pistão;
- i) válvulas.

Além destes itens o autor indica o que chama de detalhes mecânicos, que incluem-se nesse grupo os rolamentos, polias e engrenagens auxiliares, sistema de lubrificação e seus componentes.

Em seu livro publicado no ano de 1988, o professor de engenharia mecânica John B. Heywood indica cinco fatores que seriam importantes para o usuário do motor de combustão interna:

- 1) performance do motor durante a faixa de operação;
- 2) consumo de combustível e o custo deste combustível durante a faixa de operação;
- 3) ruído e as emissões de poluentes deste motor durante a faixa de operação;
- 4) custo inicial do motor e de sua instalação;
- 5) durabilidade e confiança do motor, requisitos de manutenção, e como afetam a viabilidade e custos de operação.

Com destaque dos fatores acima citados, o autor aborda a parte de dimensionamento do motor e indica relações geométricas por meio de fórmulas que auxiliam os projetistas.

Manning (2012), em seu livro evidencia que para alcançar um bom projeto em engenharia, deve-se ter um compromisso entre alguns fatores, entre eles destaca:

- a) excelência técnica;
- b) desejos e estética;
- c) durabilidade e bom funcionamento;
- d) restrições de tamanho, forma e peso;
- e) requisitos de manufatura;
- f) requisitos de legislações;
- g) requisito de meio ambiente;
- h) restrições de tempo e custo.

As legislações aplicadas para os motores de combustão interna possuem restrições e requisitos referentes ao controle de emissões, controle de ruídos, economia de combustível, aspectos de meio ambiente e processos de manufatura, segurança dos usuários, e reciclabilidade no final do ciclo de vida do produto. (MANNING, 2012).

Adequadamente Manning (2012) ressalta que típicos processos usados em projetos de motores de combustão interna, podem ser amplamente aplicados, tais como:

- a) práticas de projeto técnicos da empresa;
- b) controle dos dados do projeto;
- c) especificação do projeto do produto;
- d) revisão de projeto;
- e) detalhamento em software de CAD;
- f) especificação de lista de materiais, BOM;
- g) verificação e aprovação do projeto final;
- h) *design freeze* (data de definição da configuração do produto);
- i) lançamento, fornecimento e alterações.

Em concordância com Baxter (2011, p. 48), que afirma que, “A percepção humana é amplamente dominada pela visão..., pois o sentido visual é dominante sobre os demais sentidos.”, salienta-se que recursos visuais, como gráficos, fluxogramas e desenhos auxiliam na visualização e compreensão do projeto. Com base nesta referência, indica-se um fluxograma

na Figura 13 expresso por Manning (2012), indicando o seu início e final, com a identificação das atividades a serem realizadas sequencialmente, interligadas pelas linhas e setas. O fluxo se dá de cima para baixo.

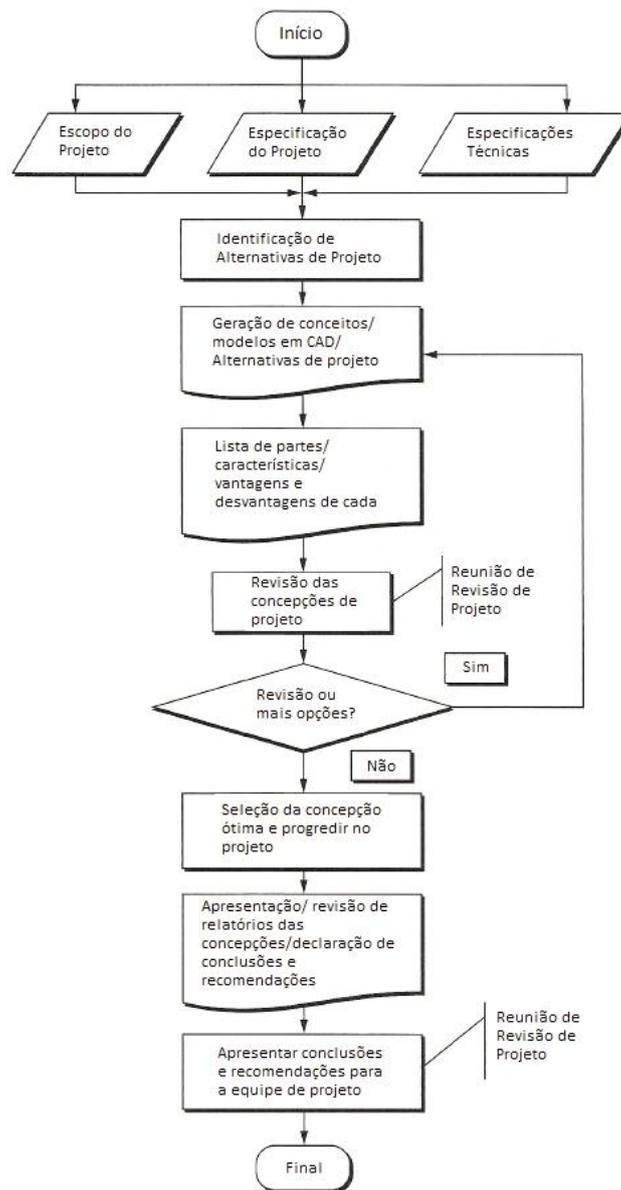


Figura 13 - Fluxograma de geração de conceitos do projeto

Fonte: Adaptado de MANNING (2012)

Nota-se que nas obras consultadas apresenta-se indicações de como proceder com o projeto de motores de combustão interna, cada autor apresentando na ordem que julga mais importante, mas não existe uma metodologia padronizada, ou uma sistematização do conhecimento armazenado até o momento.

Com base neste estudo, ressalta-se a importância da sistematização do conhecimento para o projeto de motores de combustão interna, com o intuito de auxiliar os projetistas nas tomadas de decisões durante a etapa de projeto do produto, sendo que esta etapa é de grande importância para a qualidade do produto.

2.2.1 Gerenciamento de Projeto

Realizar o projeto de um produto não é garantia que este produto chegará ao objetivo final. De nada adianta se ter um excelente projeto de produto se não atentar para o gerenciamento deste projeto. Com isso, o gerenciamento de projeto de produto, visa fazer o projeto do gerenciamento para a completa realização do projeto do produto.

Quando fala-se em gerenciamento de projeto, referencia-se ao *Project Management Institute* (PMI®), que identificou e apresentou as melhores práticas de gerenciamento de projetos. Estas melhores práticas estão apresentadas no *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK).

O gerenciamento engloba características fundamentais para alcançar o resultado final satisfatório, e conforme o PMI® (2013), o gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos.

Tal gerenciamento é realizado por meio do agrupamento, sequenciamento e relacionamento de cinco grupos de tarefas/atividades: iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle, e encerramento. PMI® (2013).

As orientações para o gerenciamento de projeto fornecidas no PMBOK podem ser aplicadas e adaptadas para vários ramos de atividades e tipos de projeto, gerenciar o projeto

nada mais é do que administrar suas etapas e processos. A Figura 14 mostra o processo de controle partindo desde o processo de iniciação até o processo de encerramento.



Figura 14 - Processos de gerenciamento de projetos

Fonte: Adaptado do PMI® (2013)

Visto que o processo de gerenciamento pode ser aplicado para vários tipos de produtos, e quanto mais complexo este produto, mais necessidade tem-se de gerenciamento.

2.3 Sistematização de Conhecimentos para o Projeto de Produto

A evolução do ser humano está baseada na sua capacidade de adquirir e armazenar o conhecimento. Conhecimento este, que muitas vezes não é compartilhado, não chega a ser experimentado pela grande maioria, ou não está agrupado e ordenado. Com isso, nos últimos tempos tem surgido muitos trabalhos de pesquisadores que primam por esta organização, apresentando metodologias para diversas áreas do conhecimento e para diversos tipos de

produtos. Segundo Romano (2013, p. 129), “Em função da complexidade do processo de desenvolvimento de produtos e, também, das particularidades de cada setor, há uma infinidade de temas que podem ser estudados e aprofundados.”

Pahl et al. (2005, p. 6), destacam que “o projeto metódico possibilita uma racionalização eficaz do processo de projeto e produção”. Também proporciona a geração de documentos com soluções de projeto, servindo como base para projetos futuros e como banco de dados com informações.

O processo de sistematização do conhecimento pode ser expresso por meio de modelos que representam de forma ampla as características principais do projeto do produto. Para estruturar um modelo de referência deve-se ressaltar algumas dimensões envolvidas. Segundo destaca Romano (2013), um modelo de referência envolve as dimensões de entrada, mecanismos, controle e saída.

Entradas (E) - são as informações ou objetos físicos a serem processados ou transformados pela tarefa.

Mecanismos (M) - são os recursos físicos e/ou informações necessários para a execução da tarefa (por exemplo: metodologias, técnicas, ferramentas).

Controle (C) - são as informações usadas para monitorar ou controlar a tarefa.

Saídas (S) - são as informações ou objetos físicos processados ou transformados pela tarefa (entregas produzidas). (ROMANO, 2013, p. 133).

A Figura 15 mostra de forma elucidativa as dimensões envolvidas na estrutura do modelo de referência proposto por Romano (2013).

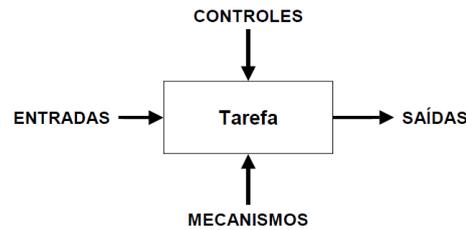


Figura 15 - Dimensões envolvidas na estrutura do modelo de referência.

Fonte: Romano (2013)

A Figura 15 ilustra que cada tarefa recebe as entradas, controles e mecanismos e entrega as saídas, sendo que estas saídas podem funcionar como entradas da próxima tarefa. Agrupando simultaneamente e sequencialmente estas tarefas, tem-se como resultado final o produto.

Tem-se como principal objetivo de uma metodologia, apoiado nas afirmações de Baxter (2011) e Leite et al. (2007), uma organização dos conhecimentos, a transformação das ideias que estão sendo criadas pelos projetistas em realidade por meio dos produtos. Uma metodologia não deve ser simples a ponto de não abordar todos os aspectos de um produto complexo e nem tão complexa a ponto de dificultar o desenvolvimento de um produto simples.

Romano (2013) esclarece o processo de desenvolvimento de produto, decompondo o processo em macrofases e fases, em que cada final de fase é avaliado e tem-se saídas que alimentam a próxima fase e assim sucessivamente. Na Figura 16 é possível verificar a estrutura genérica do modelo de referência, onde o processo de projeto é estruturado por três macrofases, seis fases, as avaliações das fases e as saídas.

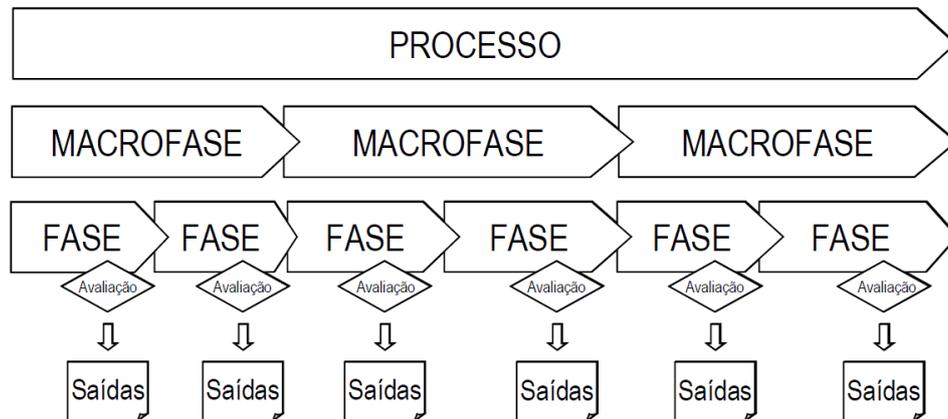


Figura 16 - Representação gráfica genérica do modelo de referência

Fonte: Romano (2013)

Como cada processo de desenvolvimento de produto tem características diferentes e também os produtos têm especificações distintas salienta-se que o número de macro fases e fases pode ser variável, conforme indica Romano (2013, p. 132), “O número de macrofases e fases varia de acordo com o processo estudado.”.

A estrutura de fases permite que o projeto seja segmentado em subconjuntos lógicos para facilitar o gerenciamento, o planejamento e controle. O número de fases, a necessidade de fases e grau de controle aplicado depende do tamanho, grau de complexidade e impacto potencial do projeto. (PMI®, 2013, p. 41, tradução nossa)

Cada fase é composta por elementos que auxiliarão na execução desta fase e fornecerá informações para a fase seguinte, Romano (2013) descreve sete elementos para cada fase: entrada, atividade, tarefa, domínios, mecanismos, controles e saídas.

em treinar novos integrantes e a possibilidade de reutilização de conhecimento armazenado em projetos anteriores.

Os autores Salgado et al. (2010), salientam que a integração de um modelo de desenvolvimento com os demais processos da empresa ou instituição, pode contribuir para o desenvolvimento de um produto de forma mais sistemática e formal, auxiliando na transformação das ideias inovadoras em produto final.

O objetivo da sistematização é auxiliar na transformação ou conversão das ideias e informações em um produto final, assim como primeira entrada tem-se a alimentação da metodologia com ideias diversas e todas as informações disponíveis até o momento como mostra a Figura 18.



Figura 18 - Transformação das ideias em produto utilizando uma metodologia

Como saída tem-se o produto final após ter sido moldada, filtrada e estruturada as ideias e informações de entrada. Inicialmente as entradas estão soltas e desconexas e a função da metodologia é agregar estas em um único elemento final e que este tenha uma função definida. O produto final pode ser tanto um produto criativo, um produto inovativo ou variante de produto existente.

Obter um produto é a ação de solucionar tarefas. Pahl et al. (2005) afirmam que se pode representar por meio de esquemas, o processo de solução de problemas ou tarefas. Inicialmente se tem a tarefa a ser realizada que é confrontada com um conjunto de conhecimento previamente adquiridos e obtêm-se informações relevantes. Segue com definição do problema em um nível

abstrato que proporciona a criação de várias ideias que devem ser avaliadas e tomadas as decisões para se chegar a solução. A Figura 19 elucida o explanado.

Inicialmente se tem a tarefa a ser realizada, que passa pela etapa de confrontação, posteriormente se obtêm as informações, que são seguidas pela definição do problema, a criação de diversas soluções, a avaliação das soluções encontradas e tomada a decisão pertinente chegas-se a solução ótima.

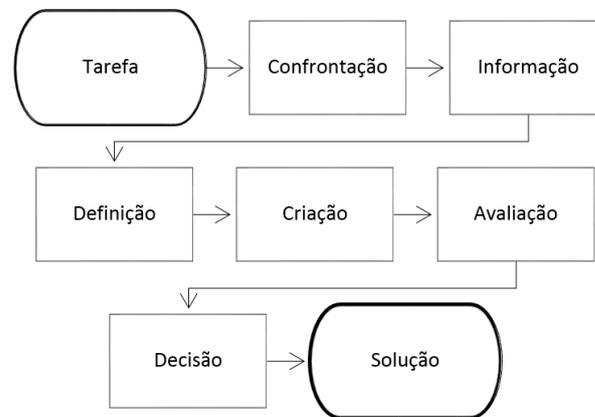


Figura 19 - Processo geral de solução

Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2005)

Para ressaltar a importância do uso de metodologia, Boeddrich (2004) destaca que a falta de sistematização ou procedimentos para o desenvolvimento de produtos prejudica o andamento do projeto e pode causar a omissão de boas ideias, da mesma forma que ideias sem prospecção podem ser discutidas por muito tempo e um valioso tempo de projeto pode ser desperdiçado.

Com base nestas informações, pensando-se o produto final como um motor de combustão interna, tem-se a necessidade de sistematizar o conhecimento sobre o projeto de motor de combustão interna, projeto de produto e com olhar especial para sustentabilidade. Agrupando tais informações numa metodologia que auxilie a alcançar o resultado final satisfatoriamente.

Para aplicar a metodologia deve-se segmentar o problema maior em problemas menores, esta segmentação deve ser tal que possibilite a resolução do problema mas não em demasia que venha a provocar empecilhos ao desenvolvimento do projeto.

2.4 Sustentabilidade na indústria automotiva

O número de veículos automotores que ingressam nas vias nacionais apresenta um crescimento significativo a cada ano (DENATRAN, 2014). O setor automobilístico desenvolve tecnologias, auxilia na estruturação de novas indústrias de base, com reflexo em diversos campos da economia. (CNI, 2012).

Segundo a CNI (2012, p.13), “A indústria automobilística e o mercado automotivo brasileiros posicionam-se entre os maiores do mundo: o Brasil é o 4º maior mercado e o 6º maior produtor automotivo mundial (2010)”. No ano de 2010 teve um faturamento de mais de 10 bilhões de dólares, representando 22,5% do PIB industrial e empregando 1,5 milhões de pessoas (CNI, 2012). Carvalho (2012, p. 786), ressalta que, “por sua importância econômica, a indústria automobilística pode apresentar impactos socioambientais, sejam eles positivos ou negativos, de grande magnitude.”

A expressividade da indústria automobilística é refletida em vários setores da economia nacional, e toda essa movimentação provoca um consumo de recursos que atinge diretamente e indiretamente a manutenção dos recursos naturais, desde a obtenção da matéria prima até a chegada no consumidor final. (CNI, 2012).

No Brasil, o Programa de Incentivo a Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores, o Inovar-Auto, foi criado com o objetivo de fornecer condições para o aumento da competitividade no setor automotivo, propiciando a produção de veículos mais econômicos e seguros, promover investimentos em engenharia, tecnologia e na pesquisa e desenvolvimento. (INOVAR-AUTO, 2015)

O programa possui validade para o período de 2013 a 2017, e uma de suas metas é a produção de veículos mais econômicos. Com isso, a partir de 2017 as empresas que produzirem

veículos que consumam menos, terão direito a abatimento de impostos para produtos industriais.

Ferreira (2010, p. 722), indica sustentar como, “Conservar, manter; Impedir a ruína ou queda de; Conservar a mesma posição”. Sustentabilidade é proporcionar a igual distribuição de recursos entre a população atual, garantindo o acesso a estes recursos pelas novas gerações e pelas gerações futuras. A sustentabilidade visa suprir as necessidades humanas sem comprometer o meio ambiente e está intimamente ligada ao crescimento populacional. (WCED, 1987).

O *Lowell Center for Sustainable Production* (LCSP), é um centro de pesquisa localizado em Massachusetts/EUA, que busca avaliar os impactos ambientais, sociais e econômicos dos produtos existentes e desenvolver soluções para o projeto de novos produtos minimizando estes impactos. Segundo o centro de pesquisa, os consumidores escolhem os produtos baseados em vários fatores que incluem função, preço, qualidade, estética, e cada vez mais os que possuem características sociais e ambientais. (LCSP, 2009).

Segundo o LCSP (2009), deve-se elaborar todo o ciclo de vida do produto focado na sustentabilidade e o produto sustentável deve apresentar tais características:

- a) saudável para os consumidores (evitar químicos que prejudiquem a saúde, ser seguro em uso);
- b) seguro para trabalhadores (manufatura e manuseio);
- c) ambientalmente correto (uso dos recursos, reciclável e minimização de descarte);
- d) beneficiar as comunidades locais (suporte para trabalhadores e comunidade);
- e) economicamente viável (preço, inovação e atendimento de necessidades).

A busca por alternativas sustentáveis na indústria automotiva envolve trabalhos de pesquisa e desenvolvimento, na procura de novas fontes de energia como opção junto com os combustíveis fósseis, ao mesmo passo que o desenvolvimento nas áreas de motores de combustão interna busca a maior eficiência energética. (CNI, 2012).

A matriz energética veicular mundial tende a ser múltipla, com predominância de uma ou outra forma de acordo com as vocações e os recursos disponíveis em cada região e da escala de consumo automotivo. No Brasil, a curto e médio prazos, a viabilização técnica e econômica está no plano dos motores a combustão, com a utilização de derivados de petróleo e biocombustíveis como o etanol e o biodiesel. (CNI, 2012, p. 23)

Mesmo desenvolvendo a preocupação relativa as questões de sustentabilidade e ambientais, Ussui (2013) destaca que a indústria automotiva tem enfrentado muitos desafios, sendo responsabilizada pela deterioração da qualidade do ar, pelo aquecimento global e pela geração de resíduos.

Conforme Mcauley (2003), identificou-se as fases do ciclo de vida automotivo que apresenta maior impacto ambiental utilizando o uso de energia como indicador, sendo atribuída 87% da energia total consumida ao longo de todo ciclo de vida de um veículo à fase de uso e manutenção, 7,1% à manufatura, 4,8% ao descarte e 1% à outros fatores. Nota-se que existe impacto ambiental desde o início do produto até o seu descarte, ressaltando a necessidade de um projeto adequado buscando aspectos sustentáveis e a minimização dos recursos utilizados.

Sendo na fase de uso dos automóveis, o maior impacto ambiental provocado, necessita-se atenção especial à esta etapa. Pode-se destacar a utilização de biocombustíveis como o etanol, onde o Brasil é pioneiro no mundo iniciando em 1979 com o Programa Nacional do Alcool e em 2003 com o desenvolvimento dos veículos *flex fuel*. A produção e o consumo de etanol reduz as emissões de CO₂ na atmosfera, como ressalta o CNI (2012, p. 25), "O balanço ambiental do etanol é positivo, considerando-se que suas emissões de CO₂ durante o consumo são recompensadas pelo cultivo da cana-de-açúcar para a produção do combustível."

Evidencia-se a necessidade de inovações contínuas no setor automotivo no que se refere aos combustíveis e às tecnologias de motores. Conforme expressa (CNI, 2012, p. 29), "Motorizações mais eficientes, de menor consumo e menores emissões, bem como combustíveis alternativos aos derivados do petróleo, estão no foco dos projetos dos centros de pesquisa e desenvolvimento automotivo em todo o mundo, e também no Brasil.". A reciclabilidade dos materiais utilizados é fator importante a ser considerado, e Medina (2002) indica que o trabalho em conjunto dos fabricantes de automóveis e seus fornecedores, produtores de matéria prima como os setores químicos e siderúrgicos buscam novos projetos de automóveis mais recicláveis tornando todo o processo economicamente mais competitivo.

O aprimoramento tecnológico visando minimizar a utilização e o descarte dos recursos naturais, auxiliará na manutenção dos recursos existentes, assim como o acesso a estes recursos pelas gerações futuras.

2.4.1 Controle de Emissões Veiculares

Muitos países têm imposto regulamentações para reduzir o consumo de combustível e as emissões atmosféricas, incluindo altas taxas nos combustíveis para incentivar a preservação de energia (Mcauley, 2003). No Brasil o órgão responsável por criar o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT), estabelecendo os limites de emissões, os prazos para serem atendidos tanto para veículos nacionais como importados é o CONAMA, que é o Conselho Nacional do Meio Ambiente.

A Resolução CONAMA n° 18 de 1986 salienta que os veículos automotores dos ciclos Otto e Diesel são fontes relevantes de emissão de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, fuligem e aldeídos. E os veículos automotores do ciclo Otto são fontes relevantes de emissão evaporativa de combustível.

Analisar e conhecer os gases expelidos no processo de combustão contribui para avaliar a eficiência do processo de queima de combustível, como também verificar a concentração dos gases poluentes para atender os limites de emissões. A proporção dos gases liberados depende da qualidade da mistura, do combustível utilizado e das condições físicas do motor.

Castro (2012) comenta que nos últimos 50 anos teve-se um aumento significativo das frotas de veículos em quase todos os países do mundo. Já no Brasil, com o expressivo crescimento da frota nacional é importante que exista políticas para o controle de emissões dos motores que constituem esses meios de transporte, sendo que os dados do DENATRAN contabilizavam no final de 2014 mais de 86 milhões de veículos automotores.

O controle dos limites máximos de emissões para os veículos se dá pela sua massa total, classificado em veículos leves e pesados. Conforme a Resolução CONAMA n° 15 de 1995,

classifica os veículos leves como aqueles que possuem massa total máxima de 3856 kg, veículos pesados como aqueles que possuem massa total máxima maior que 3856 kg. As fases do PROCONVE são indicadas pela letra “L” para veículos leve e pela letra “P” para os veículos pesados.

Da mesma forma que se criou restrições para as emissões de veículos leves com a aplicação das fases L do programa de controle de emissões, foi elaborado estratégias para os veículos pesados, com o objetivo principal de atender os veículos do ciclo Diesel.

Tanto a fase subsequente para veículos leves L-6, quanto à para veículos pesados P-7 estão em tramitação e a vigência destas fases ainda não está implantada no país, seja por motivos políticos ou seja por interesses das empresas do setor que tentam postergar a aplicação das leis devido os custos de adequação dos seus produtos e a necessidade de explorar ao máximo os projetos atuais.

Com a implantação das novas regras sobre emissões, referentes a fase L-6 para veículos leves e P-7 para veículos pesados, busca-se reduções maiores das emissões provocadas pelos motores, com isso aumenta a exigência de novas tecnologias e novas formas de desenvolvimento do produto que garanta qualidade e confiabilidade.

A frota brasileira de veículos leves é composta por automóveis movidos exclusivamente por gasolina C, movidos exclusivamente a etanol hidratado e a partir de 2003 veículos que utilizam ambos os combustíveis em qualquer proporção, os chamados *flex fuel*. Conforme informação do relatório final do 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, pode-se observar a distribuição da frota de automóveis por tipo de combustível na Figura 20.

No ano de 2009 foi iniciada a venda de motocicletas *flex fuel* e para as motocicletas se tem estratégias para redução das emissões, o PROMOT, que é denominada a fase “M”.

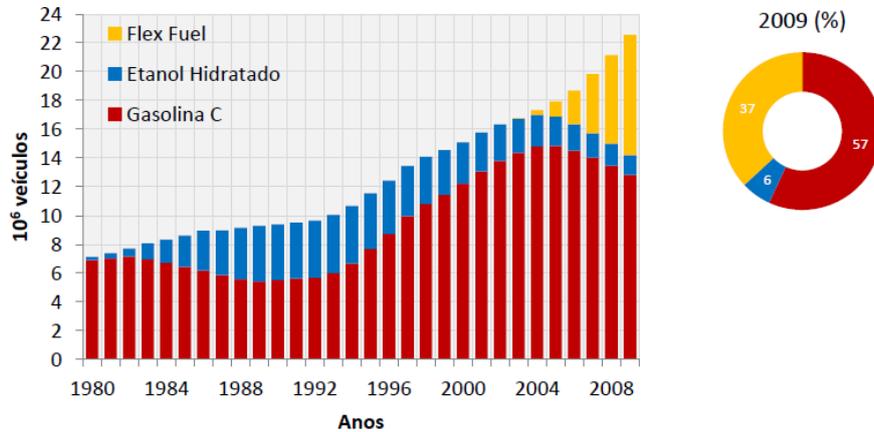


Figura 20 - Distribuição de automóveis leves por tipo de combustível até o ano de 2009.

Fonte: Brasil (2011).

Segundo a ANTP (2012), no ano de 2011 foram percorridos 422 bilhões de quilômetros, sendo usado várias formas de deslocamento conforme indica a Figura 21. A grande maioria dos deslocamentos é feito pelo transporte coletivo (TC) que corresponde a 57,1%, seguido pelo transporte individual (TI) com 35,3% dos deslocamentos. Nota-se que os transporte não motorizados (TNM), como é de se esperar, com 7,6% da distância total percorrida.

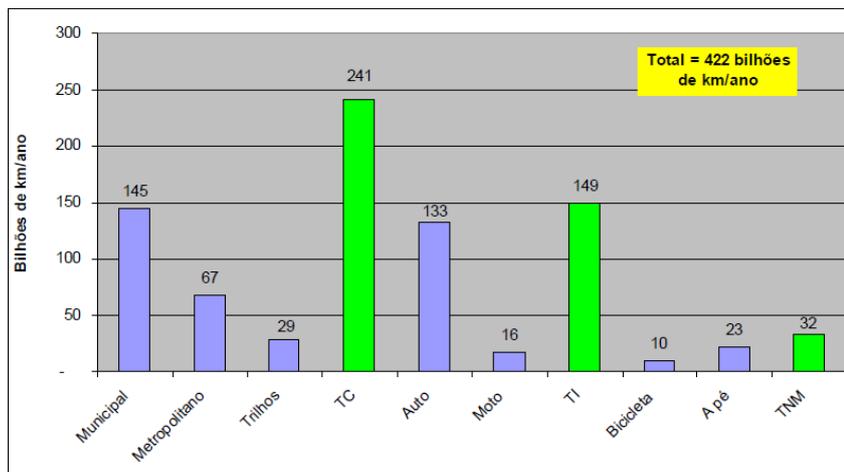


Figura 21 - Distância percorrida pelas pessoas por modos de deslocamento

Fonte: ANTP (2012)

Sabendo que as pessoas realizam montantes expressivos de deslocamentos durante o ano, e que os veículos automotores liberam poluentes em modo de funcionamento, o programa de redução das emissões tem o intuito de minimizar a degradação do meio ambiente por meio de seus limites máximos de emissões. McAuley (2003) salienta que o impacto no clima, na qualidade do ar e na saúde humana pode ser extremamente prejudicial se mudanças significativas no projeto de veículos não forem implementadas globalmente. Isso gera grande necessidade de melhoria de projeto dos motores e incentiva o desenvolvimento tecnológico do país. Segundo Ibama (2011), o programa faz a certificação de protótipo e projetos, e o acompanhamento na etapa de produção dos veículos.

Na fase de homologação dos protótipos visa garantir que as empresas desenvolvam projetos que garantam estar dentro dos limites de emissões, os fabricantes responsabilizam-se por veículos importados, recomendar os usuários sobre as manutenções e regulagens.

O que é certo é que as leis nacionais sobre emissões de poluentes exigem das empresas novas abordagem dos seus produtos, novas formas de desenvolvimento e agilidade em colocar estes produtos no mercado. Pois a concorrência só aumentará e o mais preparado para o desenvolvimento do produto pode alcançar resultados satisfatórios.

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Para a realização de um trabalho, atividade, tarefa ou até mesmo um exercício físico de forma correta e que traga maiores benefícios para o realizador, existe a necessidade de preparação e planejamento. Se tarefas simples devem ser realizadas com uma preparação, para que na próxima vez de realizar esta mesma tarefa se tenha uma maior segurança e possibilidade de melhoria, muito mais se vale para problemas complexos.

Com isso, para alcançar o objetivo geral descrito no item 1.5.1 por meio dos objetivos específicos descritos no item 1.5.2 acima, elaborou-se um processo baseado no modelo de referência genérico descrito por Romano (2013) descrito no item 2.3.

Para isso a pesquisa constituiu-se de três etapas, que sequenciadas, auxiliaram para alcançar os objetivos propostos:

- a) etapa 1 – propor uma estrutura que possibilite o desenvolvimento da metodologia;
- b) etapa 2 – com base na estrutura proposta, modelar o processo que auxiliasse no desenvolvimento de motores de combustão interna;
- c) etapa 3 – realizar a avaliação da metodologia modelada por meio de questionário.

Com base no modelo apresentado por Romano (2013), se montou uma estrutura para o desenvolvimento do projeto de motores de combustão interna, utilizando planilhas eletrônicas e esquemas visuais para o entendimento e visualização de todo o processo de desenvolvimento e também das fases em particular.

3.1 Primeira Etapa: propor uma estrutura base

Inicialmente, na primeira etapa foi proposto uma estrutura do processo de projeto do produto composta por seis fases. A evolução ocorre da esquerda para direita conforme a Figura 22. Na parte superior, englobando as seis fases, se tem o processo de projeto do produto. Logo

abaixo segue os identificadores das fases: 1 – primeira fase, 2 – segunda fase, 3 – terceira fase, 4 – quarta fase, 5 – quinta fase e 6 – sexta fase.



Figura 22 - Estrutura básica do modelo proposto

Sendo que cada fase está composta por cinco elementos que a integram, sendo eles: a entrada da fase, o identificador da fase, da tarefa e subtarefa (Id) no formato (n°fase.n°tarefa.n°subtarefa), a descrição da tarefa a ser realizada, o setor responsável conforme o organograma e por fim, a descrição da saída da fase.

FASE DO MODELO				
Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
Descrição da Entrada da Fase	Identificador da fase, da tarefa e subtarefa no formato (n° fase.n° tarefa.n°subtarefa)	Descrição da tarefa a ser realizada	Área responsável pela realização da tarefa	Descrição da Saída da Fase

Figura 23 - Estrutura das fases da metodologia

Para a atribuição dos responsáveis pela realização de cada tarefa proposta, definiu-se um organograma para a equipe de projeto. O organograma é composto por um consultor de projeto, um gerente, um assessor de planejamento e seis áreas de conhecimento específico

juntamente com o seu pessoal de apoio. A Figura 24 detalha o organograma genérico da equipe de projeto.

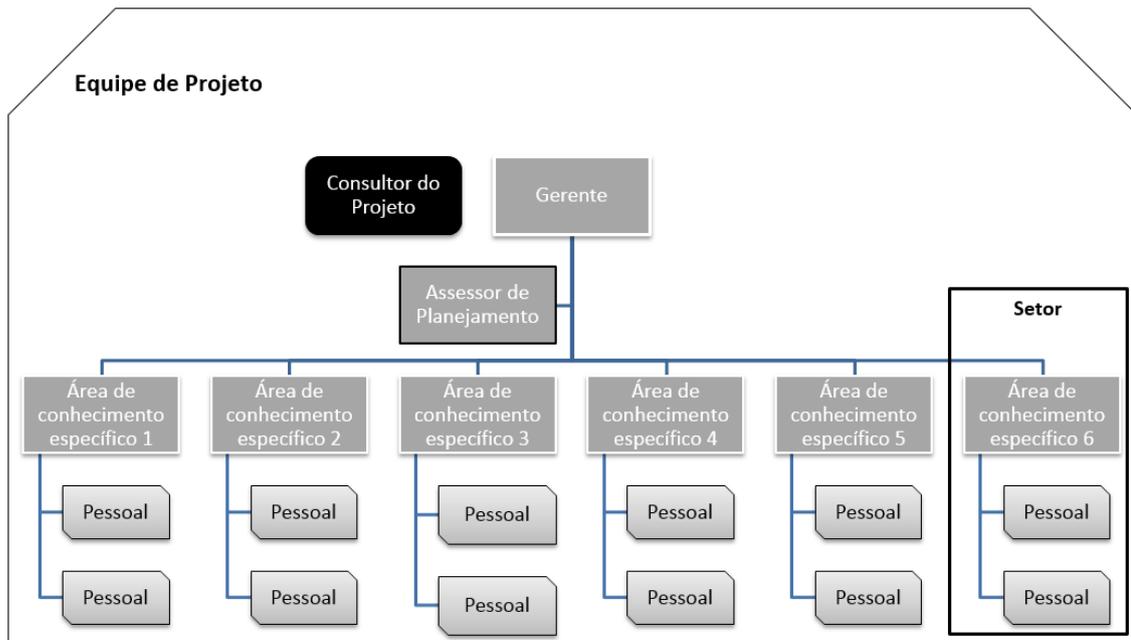


Figura 24 - Organograma genérico da equipe de projeto

No destaque aparece o setor que é formado pela área de conhecimento específica e o pessoal agregado. Os setores formados pelas seis áreas de conhecimento específico estão no mesmo nível hierárquico, acima dos setores se tem o assessor de planejamento que auxilia diretamente o gerente. O consultor de projeto auxilia toda a equipe nas questões referentes ao projeto do produto e gerenciamento.

3.2 Segunda Etapa: modelar o processo do projeto de motor de combustão interna

Já na segunda etapa, com base na estrutura proposta na etapa 1, se modelou o processo para auxiliar no projeto de motor de combustão interna, denominado PMCI.

Com o objetivo de auxiliar os projetistas nas tomadas de decisões, encurtar o tempo de projeto e também proporcionar qualidade no produto final devido a organização dos conhecimentos, montou-se uma estrutura utilizando de recursos visuais e tabela eletrônica.

A metodologia de projeto para motores de combustão interna é estruturada por seis fases que são: fase de planejamento e informações sobre o projeto do MCI, geração e seleção da concepção do MCI, detalhamento da concepção do MCI, manufatura do MCI, montagem e teste do MCI e finalmente o encerramento do projeto do MCI. Na Figura 25 é possível identificar a sequência das fases que constituem a metodologia, o nome de cada fase e sua representação no esquema visual.



Figura 25 - Fases que compõem a metodologia

A evolução se apresenta no sentido da seta, da esquerda para direita. Cada fase do projeto do motor de combustão interna – PMCI, é composta por entradas, tarefas e saídas, sendo que estas últimas fornecem subsídios para fase seguinte. Algumas tarefas possuem subtarefas. A saída de uma fase do projeto é a entrada da fase seguinte, funcionando como uma avaliação ou etapa que deve ser cumprida e avaliada para prosseguir no projeto.

Em todo final de fase é feito uma avaliação da corrente fase, definindo entre aprovar, cancelar ou reformular. Posterior a avaliação, elabora-se um relatório de resultados da fase, registrando as lições no aspecto técnico e no aspecto da gestão do projeto.

3.2.1 Organograma do projeto

Para a realização das tarefas descritas na metodologia, é necessário responsáveis para acompanhar e atuar sobre tais. Com isso, estruturou-se o organograma para a equipe de projeto, constituído por seis áreas de conhecimento específicos, mais o assessor de planejamento e controle, o gerente do projeto e o consultor de projeto. Todos integram a equipe de projeto, desta forma quando refere-se a equipe de projeto todos participam das tomadas de decisões.

As seis áreas de conhecimento que compõem os setores da equipe de projeto são nomeadas conforme segue: projeto, manufatura, montagem e teste, administrativo financeiro, comunicação e marketing e por fim, qualidade e sustentabilidade. Cada setor é constituído por um conjunto de pessoal que são os responsáveis por realizar as tarefas destinadas para o presente setor.

A Figura 26 indica o organograma da equipe de projeto com os seus respectivos setores, o pessoal de cada setor, acima dos setores tem-se o assessor de planejamento e controle, e superior a este o gerente do PMCI. O consultor do projeto é o responsável por amparar toda a equipe de projeto durante a evolução do projeto do produto.

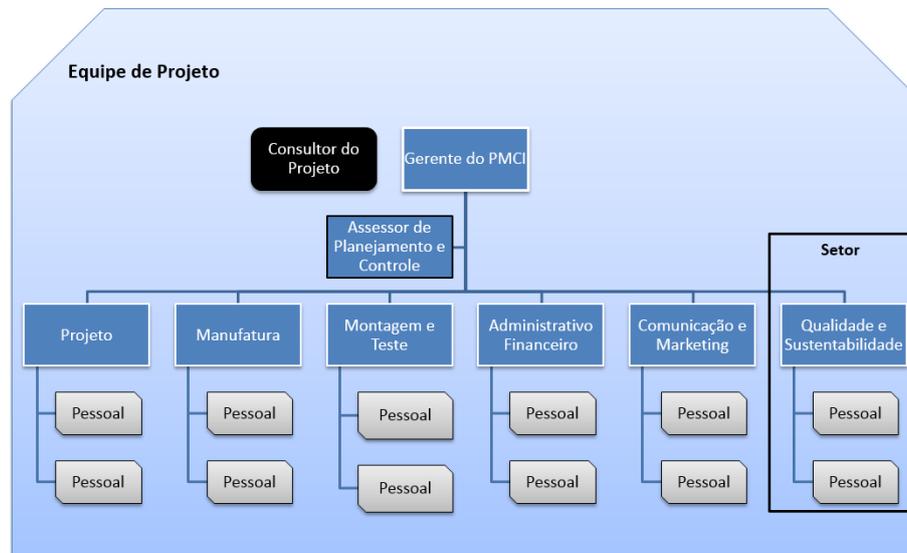


Figura 26 - Organograma da equipe de projeto

A estrutura da equipe de projeto é funcional, onde cada setor tem o responsável e mais o pessoal de apoio. Todas funções estão no mesmo nível hierárquico e respondem ao gerente de projeto. O gerente de projeto é auxiliado pelo assessor de planejamento e controle, uma função importante é a de consultor de projeto, que deve ser ocupada por um integrante com experiência que é o responsável por abordar os problemas mais críticos e orientar o processo de desenvolvimento do motor de combustão interna.

Como se observa na Figura 26, apresenta-se os responsáveis por acompanhar e controlar as tarefas de cada fase do projeto, que são eles: Gerente do PMCI, Assessor de Planejamento e Controle, Projeto, Manufatura, Montagem e Teste, Administrativo Financeiro, Comunicação e Marketing e por fim, Qualidade e Sustentabilidade. O Consultor de Projeto atua em todas as áreas em conjunto com o Gerente do PMCI.

3.3 Terceira Etapa: avaliação da metodologia

Para o processo de avaliação da metodologia, foi elaborado um formulário eletrônico e enviado para os respondentes, com o intuito de colher as avaliações e colaborações dos participantes. Também foi enviado via correio eletrônico (email), a tabela do PMCI contendo o manual de utilização e as informações da metodologia.

Conforme Moraes, Jacobi e Zanini (2011), a amostragem pode ser probabilística ou não probabilística. Onde os mesmos autores afirmam que na amostragem não probabilística existe uma escolha deliberada dos elementos da amostra. Mattar (1996) diz que neste tipo de amostragem a seleção dos elementos depende do julgamento do pesquisador.

Neste trabalho será utilizado a amostra não probabilística por conveniência, onde o pesquisador seleciona os membros da população mais acessíveis ou que julga serem representativos (SCHIFFMAN e KANUK, 2000).

O formulário online estava composto por trinta e cinco (35) questões divididas em três grandes grupos: Grupo 1 com a identificação do respondente, Grupo 2 com o levantamento do tempo de trabalho com o tema projeto de produto e motores e por fim o Grupo 3 com o questionamento sobre a metodologia de projeto adotada no PMCI. O Grupo 3 foi dividido em três partes: primeira parte sobre metodologia de projeto, segunda parte sobre o projeto de motor de combustão interna e a terceira e última parte sobre a utilização da planilha do PMCI.

Inicialmente o formulário apresentava um termo de concordância informando o respondente sobre o trabalho realizado, identificação do mestrando, orientador, programa de pós graduação, informações sobre a universidade e o objetivo da avaliação.

Destacado a voluntariedade da pesquisa e a não existência de remuneração ou despesas por parte do respondente, da mesma forma que a sua identidade não será divulgada em nenhum momento da avaliação dos resultados. A Figura 27 mostra o termo de concordância enviado.

Avaliação do PMCI

Formulário elaborado para a avaliação da metodologia de Projeto de Motor de Combustão Interna - PMCI.

TERMO DE ACORDO:

Prezado (a) respondente, convidamos-vos para participar da avaliação da metodologia de Projeto de Motor de Combustão Interna – PMCI, elaborada pelo mestrando Miguel Guilherme Antonello, do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção – PPGE, da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, sob a orientação do professor Leonardo Nabaes Romano, Dr. Eng. A avaliação pretende identificar a adequação do trabalho para o processo de desenvolvimento de um motor de combustão interna. Ressalta-se que a sua participação é extremamente importante e se dará de forma voluntária por meio do preenchimento deste questionário. Não haverá nenhuma forma de despesa ou remuneração pela sua participação, sendo que os resultados analisados e publicados em nenhum momento exporão a sua identidade. Em caso de dúvida contatar: eaitche@gmail.com

*Obrigatório

Fui informado sobre o propósito da pesquisa e concordo em participar do questionário contribuindo com minhas respostas. *

Concordo

Continuar »

16% concluído

Figura 27 - Termo de concordância

Somente após receber a concordância do respondente, o formulário apresentou o primeiro grupo de perguntas referentes a identificação do respondente. Na etapa de identificação foram apresentadas as sete primeiras questões. As questões eram referentes ao nome, gênero, instituição atual do respondente no momento da pesquisa, data de nascimento, curso de formação, o grau de escolaridade e o cargo atual. As sete questões do primeiro grupo estão representadas na Figura 28.

Identificação do Respondente

01- Nome *

Digite seu nome completo

02 - Gênero *

- Masculino
 Feminino

03 - Instituição *

Instituição de ensino ou empresa atual do respondente

04 - Data de Nascimento *

dd/mm/aaaa

05 - Formação *

Curso de Formação

06 - Grau de Escolaridade *

- Técnico
 Graduado
 Mestre
 Doutor

07 - Cargo Atual *

Cargo que atualmente ocupa em instituição de ensino ou empresa

« Voltar

Continuar »



Figura 28 - Grupo 1: identificação do respondente

Preenchido todos os campos, o formulário apresentava o segundo grupo formado pelo levantamento do tempo de trabalho do respondente com o tema. Este grupo estava formado por duas perguntas, sendo uma referente ao tempo de trabalho com projeto de produto e a outra referente ao tempo de trabalho com motor de combustão interna. Sendo que eram possíveis as cinco respostas apresentadas na Figura 29. Primeira opção de 0 a 2 anos, segunda opção de 3 a 5 anos, terceira opção de 6 a 10 anos, quarta opção de 11 a 15 anos e quinta opção mais de 15 anos.

Tempo de Trabalho com o Tema

08 - Há quanto tempo trabalho com projeto de produto? *

Anos de trabalho ou estudo sobre projeto de produto

- De 0 a 2 anos
- De 3 a 5 anos
- De 6 a 10 anos
- De 11 a 15 anos
- Mais de 15 anos

09 - Há quanto tempo trabalho com motor de combustão interna? *

Anos de trabalho ou estudo sobre motor de combustão interna

- De 0 a 2 anos
- De 3 a 5 anos
- De 6 a 10 anos
- De 11 a 15 anos
- Mais de 15 anos

« Voltar

Continuar »



Figura 29 - Grupo 2: tempo de trabalho com o tema projeto de produto e motor

Completando as perguntas do segundo grupo, evoluía para o terceiro grupo. O Grupo 3 era referente a metodologia de projeto de motor de combustão interna, no qual a primeira parte tratou da metodologia de projeto. Esta primeira parte era formada por vinte questões objetivas sendo que as possíveis respostas foram dispostas na escala Likert com valor de 1 a 5. Sendo 1 para não atende, 2 para atende fracamente, 3 para atende parcialmente, 4 para atende fortemente e 5 para atende totalmente.

A Figura 30 representa as questões do Grupo 3, indicando na parte 1 as questões de 10 a 20 referentes a metodologia de projeto, na parte 2 as questões de 21 a 27 referentes ao projeto de motor de combustão interna e por fim na parte 3 as questões 28 a 35 referentes a utilização da planilha. Sendo que a questão 35 era aberta para sugestões de melhorias, críticas ou mesmo não responder esta questão.

		Questão	Descrição da questão
Grupo 3	Parte 1	10	A subdivisão do projeto em forma de fases se apresenta de forma adequada?
		11	O número de fases e a nomenclatura destas fases está apresentada de forma clara?
		12	As tarefas e subtarefas de cada fase estão apresentadas de forma clara e eficiente?
		13	O nível de detalhamento do PMCI está apropriado para o desenvolvimento de um motor de combustão interna?
		14	A estrutura organizacional sugerida para a formação da equipe é compatível para desenvolver o projeto do motor?
		15	Os gráficos para análise do projeto servem como complemento e auxilia no processo?
		16	O controle do tempo de projeto, realizado por meio do cronograma, apresenta-se de forma adequada?
		17	O fluxograma das fases apresenta as tarefas organizadas de tal forma que auxilia e agiliza o processo de desenvolvimento do motor?
		18	As entradas e saídas de cada fase estão condizentes com o projeto do motor?
		19	O responsável de cada tarefa está definido de forma adequada?
		20	As ferramentas para gerenciamento do projeto, disponibilizadas no PMCI (cronograma; estrutura organizacional; análise do projeto com o gráfico bolha e o gráfico com as tarefas a serem concluídas no período de projeto) se apresentam de forma alinhada com a metodologia para projeto de motor de combustão interna?
	Parte 2	21	As fases apresentadas auxiliam no desenvolvimento de um motor de combustão interna?
		22	A sequência das fases, tarefas e subtarefas estão apresentadas de forma pertinente para realizar o desenvolvimento de um motor de combustão interna?
		23	A estrutura funcional proposta para o motor, auxilia no processo de desenvolvimento do produto?
		24	É importante utilizar esta metodologia para auxiliar no desenvolvimento de um motor de combustão interna?
		25	As tarefas e subtarefas apresentadas instigam a criatividade durante o processo de desenvolvimento de um motor de combustão interna?
		26	As dimensões analisadas no gráfico de análise do projeto destacam pontos importante de um motor de combustão interna?
		27	O controle do tempo de projeto, realizado por meio do cronograma, apresenta-se de forma adequada?
	Parte 3	28	É possível compreender e operar sem a presença de um instrutor?
		29	Existe uma clareza na sequência de apresentação da metodologia?
		30	Existe clareza nos diagramas e gráficos apresentados?
		31	Existe interatividade com o usuário e facilidade de movimentação na planilha?
		32	Com relação à segurança, evita a modificação de conteúdo da planilha?
		33	Com relação a confiabilidade da planilha, é capaz de salvar os dados automaticamente quando finalizada?
		34	As informações sobre a utilização da planilha (botão Informações e Manual do PMCI) estão apresentadas de forma adequada?
		35	Deixe sua sugestão de melhoria para o PMCI

Figura 30 - Grupo 3: metodologia de projeto do PMCI

As questões que compunham o formulário foram enviadas para os respondentes eletronicamente. Os respondentes são profissionais que trabalham ou tem uma relação direta com o tema projeto de produto ou motor de combustão interna. Formados por pesquisadores de universidades privadas e públicas, e também projetistas de empresas nacionais e multinacionais.

Após o recebimento das respostas, estas foram analisadas e organizadas em grupos com o perfil dos respondentes. Estão apresentadas por meio de gráficos que indicam a proporção das respostas segundo as escolhas marcadas pelos respondentes.

Esta análise das respostas está apresentada no capítulo 6 desta dissertação, que trata dos resultados da avaliação da metodologia.

4 METODOLOGIA PARA PROJETO DE MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA - PMCI

A metodologia para projeto de motor de combustão interna – PMCI - foi desenvolvida com o intuito de auxiliar os acadêmicos dos cursos de engenharia a desenvolver motores de combustão interna para aplicações, principalmente didáticas, sendo estes guiados e orientados por um conjunto de fases e tarefas para se chegar ao objetivo final. Também para ressaltar a importância do processo de sistematização e organização de conhecimento, sendo uma ferramenta de exemplificação e auxílio em disciplinas de projeto de produto e metodologia de projeto.

Neste tópico será apresentado a metodologia para projeto de motor de combustão interna, explicitando suas seis fases, a configuração de cada fase, indicando as tarefas, entradas, áreas responsáveis pela realização das tarefas e a saída desejada.

Da mesma forma, será apresentado as ferramentas de auxílio do projeto, que estão incluídas na metodologia. A metodologia foi arquitetada sobre a plataforma de planilha eletrônica, devido a flexibilidade de visualização e manuseio da mesma. Se apresenta de forma interativa onde o usuário pode navegar pela planilha, verificando as tarefas de cada fase e também demais informações como análise do projeto, estrutura organizacional, a estrutura funcional do motor, a elaboração do cronograma das atividades, a estrutura das fases do modelo e a metodologia como um todo.

Na sequência é apresentada a descrição de cada fase da metodologia para projeto de motor de combustão interna.

4.1 Fase de Planejamento e Informações sobre o Projeto do MCI

Esta é a primeira fase do projeto do motor de combustão interna, sendo que o propósito é obter as informações iniciais do projeto, realizar a organização e traçar o planejamento de

como estas informações serão manipuladas. A fase tem como entrada a intenção ou plano do produto e como saída o plano do projeto do motor de combustão interna. O plano do projeto, de acordo com Romano (2013), é o documento formal usado para gerenciar e controlar a execução do desenvolvimento do projeto. Este plano abrange os recursos necessários para o desenvolvimento do produto, o cronograma, os sistemas, componentes e as prioridades do projeto.

Todas as fases têm suas principais tarefas representadas na forma de fluxograma, no qual se pode visualizar as tarefas organizadas e interligadas por flechas. A exposição das tarefas no formato de fluxograma pretende auxiliar na elaboração do cronograma sugerindo a relação entre as tarefas e agilizar o processo de desenvolvimento do motor de combustão interna.

A Figura 31 apresenta o fluxograma da fase de planejamento, indicando as relações entre as tarefas, a entrada e a saída do fluxograma.

Pela parte superior esquerda do fluxograma, se apresenta na forma de seta, a entrada do fluxograma. A primeira tarefa a ser realizada é a de montar a equipe, posterior a esta se segue a elaboração do termo de abertura do projeto.

De forma concomitante, se pode realizar as tarefas de definir o escopo do produto e do projeto, a tarefa de elaboração do plano de comunicação da equipe e a tarefa de elaboração do cronograma do projeto.

Finalizando as tarefas anteriores, prossegue-se com a tarefa de elaboração da previsão de custos totais do projeto e do produto.

Após finalizar os custos, de forma simultânea se pode realizar as tarefas de destacar as tendências tecnológicas, a tarefa de definir os clientes do projeto, a tarefa de avaliação das fontes alternativas de energia e a tarefa de verificação de acionamento remoto do motor. Sobre a tarefa de destacar as tendências tecnológicas, é realizar um levantamento sobre as possíveis tecnologias aplicáveis no projeto do motor.

Na sequência das tarefas anteriores, se realiza de forma sincrônica as tarefas de verificar as normas ambientais, a tarefa de definição dos testes a serem realizados, a tarefa de definir a lista dos patrocinadores e a tarefa de definir a solicitação de recursos.

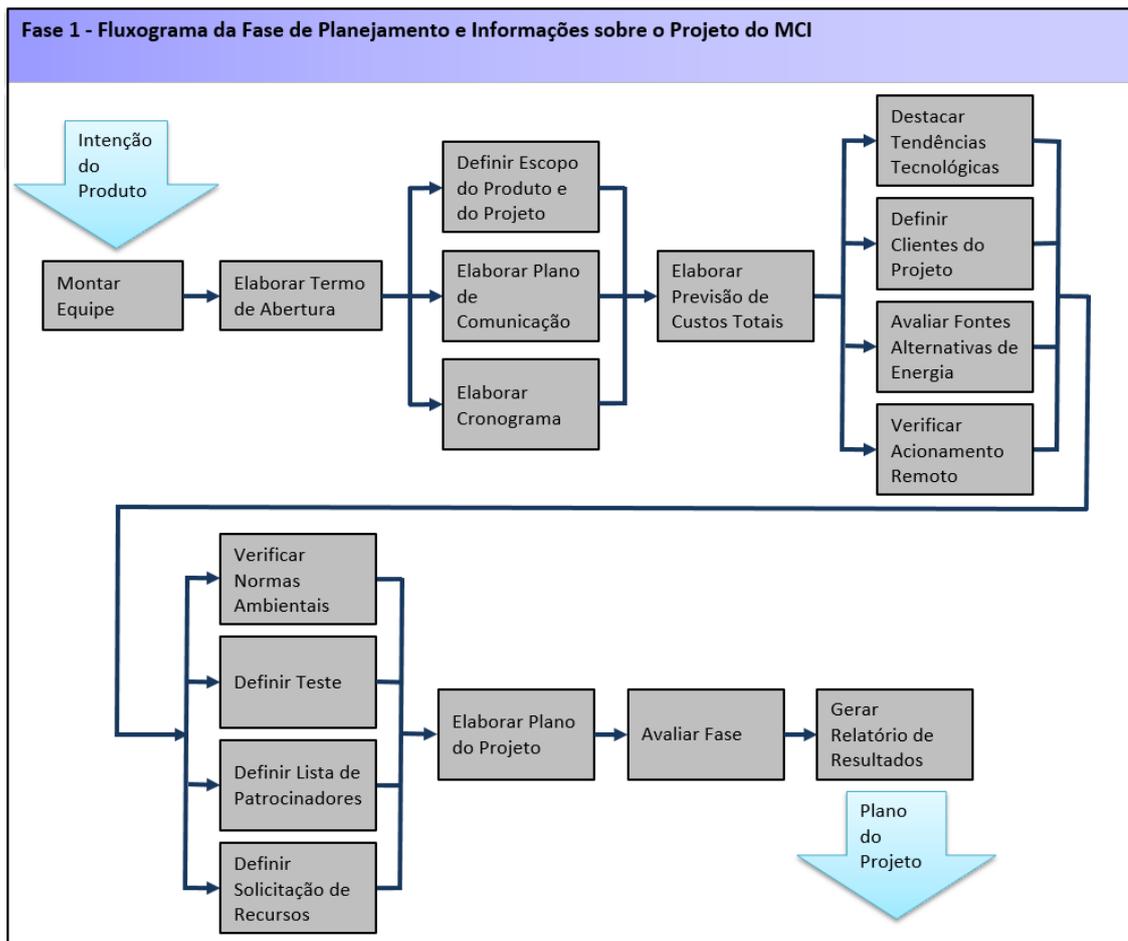


Figura 31 - Fluxograma da primeira fase do PMCI

Realizado as tarefas anteriores, se deve executar a elaboração do plano do projeto, posteriormente realiza-se a avaliação da corrente fase e por fim a geração do relatório de resultados da fase. O plano do projeto é o documento com as informações sobre o projeto do produto. Sua estruturação deve incluir as informações obtidas nesta fase inicial como a carta de projeto, escopo do produto, escopo do projeto, equipe envolvida, lista das atividades, recursos necessários, o cronograma do projeto, previsão de custos, o orçamento e as limitações do projeto.

Como saída do fluxograma na parte inferior direita, apresentado também no formato de seta, se tem o plano do projeto.

Os identificadores das tarefas e sub tarefas tem o formato 1.x.x, sendo que o número 1 representa a primeira fase e os demais dois dígitos a tarefa e a subtarefa, respectivamente. A

descrição da entrada, do identificador, das tarefas, o responsável e a saída da primeira fase está apresentada na Figura 32. Já a ilustração completa da primeira fase, com a descrição de todas as tarefas e subtarefas está representado no apêndice A.

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
Intenção/Plano do Produto	1.1	Definir se há necessidade ou desejo de projetar um motor de combustão interna	Equipe de projeto	Plano do Projeto
	1.2	Definir as funções da equipe de projeto, conforme o organograma	Equipe de projeto	
	1.3	Elaborar o termo de abertura do projeto ou carta de projeto (<i>Project Charter</i>)	Gerente do PMCI	
	1.4	Definir o escopo do motor de combustão interna (Escopo do Produto)	Equipe de projeto	
	1.5	Definir o escopo do projeto do motor (Escopo do Projeto)	Equipe de projeto	
	1.6	Elaborar o plano de comunicação do projeto do motor de combustão interna	Gerente do PMCI	
	1.7	Elaborar o cronograma do projeto do motor de combustão interna	Gerente do PMCI; Projeto	
	1.8	Implementar o orçamento do projeto do motor de combustão interna	Administrativo Financeiro	
	1.9	Definir clientes/usuário do motor de combustão interna	Equipe de projeto	
	1.10	Analisar tendências tecnológicas possíveis e aplicáveis	Projeto	
	1.11	Avaliar a utilização de fonte alternativa de energia	Qualidade e Sustentabilidade	
	1.12	Avaliar se o motor de combustão interna pode ser acionado remotamente (telemetria)	Projeto	
	1.13	Verificar o atendimento de normas vigentes sobre poluição ambiental	Qualidade e Sustentabilidade	
	1.14	Definir a volume de produção	Manufatura	
	1.15	Delimitar os testes a serem realizados no MCI	Projeto	
	1.16	Definir softwares (desenho, simulações, gerenciamento, armazenamento de dados...)	Projeto	
	1.17	Agrupar todos os requisitos de projeto e de produto	Projeto	
	1.18	Elaborar lista de possíveis patrocinadores e as respectivas solicitações	Comunicação e Marketing	
	1.19	Elaborar projeto para solicitação de recursos	Comunicação e Marketing	
	1.20	Preparar a elaboração de artigo técnico	Assessor de Planejamento e	
	1.21	Implementar o plano do projeto	Gerente do PMCI	
	1.22	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	1.23	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e	

Figura 32 - Tarefas da primeira fase do PMCI

Como primeira tarefa da fase, com o identificador 1.1, de responsabilidade de toda a equipe de projeto, se tem a definição se existe a necessidade ou desejo de projetar um motor de combustão interna. Partindo desta premissa e tendo concordância da equipe se prossegue para segunda tarefa.

De responsabilidade de toda a equipe de projeto, a segunda tarefa da primeira fase de projeto com identificador 1.2, é definir as funções de cada integrante da equipe de projeto. Essa definição segue o organograma indicado na Figura 26. De cima para baixo, se deve escolher o consultor de projeto, seguido do gerente do projeto do PMCI, o assessor de planejamento e controle que é o responsável por auxiliar diretamente o gerente de projeto. Prosseguindo com os setores da esquerda para a direita, se define o setor de projeto, manufatura, montagem e teste, o setor administrativo financeiro, comunicação e marketing, e finalmente o setor de qualidade e sustentabilidade. Estabelecendo toda a equipe de projeto e definindo o pessoal de apoio de cada setor, está formada a equipe para desenvolver o projeto do motor de combustão interna.

Após a estruturação da equipe, o gerente do projeto deve desenvolver a tarefa 1.3 de elaborar o termo de abertura do projeto ou carta de projeto.

O termo de abertura é o documento que autoriza formalmente o início das atividades e contém os requisitos iniciais do projeto. Conforme o PMI® (2013), o termo de abertura é o documento que autoriza formalmente a existência do projeto e estabelece ao gerente de projeto a autoridade sobre os recursos e as atividades de projeto. A terceira tarefa da primeira fase possui quatro subtarefas nas quais o gerente do projeto deve descrever as principais características do projeto e do produto a ser desenvolvido, justificar o porquê da realização do projeto, o gerente também deve realizar a identificação dos envolvidos e suas formas de atuação no projeto e por fim aprovar e assinar o termo de abertura do projeto. O modo de representação das subtarefas da fase está indicado na Figura 33.

1.3	Elaborar o termo de abertura do projeto ou carta de projeto (<i>Project Charter</i>)	Gerente do PMCI
1.3.1	Descrever o projeto e o produto a ser desenvolvido	
1.3.2	Destacar as justificativas para a realização do projeto	
1.3.3	Identificar todos os envolvidos no projeto e suas atribuições	
1.3.4	Aprovar e assinar o termo de abertura ou carta de projeto	

Figura 33 - Subtarefas da terceira tarefa da primeira fase

Posteriormente, segue para tarefa com identificador 1.4 de responsabilidade da equipe de projeto, que é definir o escopo do motor. A quarta tarefa da primeira fase possui seis subtarefas e a equipe de projeto deve descrever as principais características do motor de combustão interna, descrever onde este motor será aplicado, ou seja, em uma bancada de estudos ou em algum veículo específico. Feito isso, se define se a função do motor é gerar energia, servir para obtenção de informações para pesquisas ou movimentação de veículo. Na sequência se faz a descrição do desempenho desejado, realiza-se o benchmarking nos motores de interesse e para concluir a tarefa a equipe aprova e assina o escopo do produto.

Dando sequência, a tarefa com identificador 1.5 de responsabilidade da equipe de projeto é definir o escopo do projeto do motor. Esta tarefa é formada por cinco subtarefas nas quais se deve descrever os objetivos e justificativas do projeto, realizar a descrição do produto que será obtido com o corrente projeto, destacar os fatores de sucesso e as principais restrições do projeto, fazer a descrição e as atribuições da equipe envolvida e ao final da tarefa aprova e assina o escopo do projeto.

O escopo do projeto e o escopo do produto são, respectivamente, os principais pontos e justificativas do projeto e as principais características do produto a ser desenvolvido. Com relação aos escopos, o PMI® (2013) refere-se ao escopo do produto como sendo o documento que contém as características e funções do produto, serviço ou resultado esperado, já o escopo do projeto refere-se ao trabalho que será realizado para entregar o produto, serviço ou resultado com as características e funções especificadas. O escopo do projeto, em muitos casos, inclui o escopo do produto.

A tarefa de elaboração do plano de comunicação é realizada pelo gerente do projeto. Esta é a tarefa de identificador 1.6 que define como as informações serão enviadas, recebidas e

armazenadas, assim como as declarações sobre as reuniões da equipe como o local, a frequência, a duração e os membros que participarão das reuniões.

Com o identificador de número 1.7, a próxima tarefa trata da elaboração do cronograma do projeto. Esta tarefa é de responsabilidade do gerente do projeto em conjunto com o setor de projeto. A elaboração do cronograma auxilia na comunicação da equipe, no planejamento dos recursos e no monitoramento do processo de desenvolvimento. Nas cinco subtarefas que compõem a tarefa, se define a data de início e fim do projeto, realiza-se a elaboração do cronograma no qual se insere a relação e a duração das tarefas, se faz a alocação dos recursos disponíveis e necessários e a posterior disponibilização deste cronograma gerado para toda a equipe de projeto.

O cronograma apresenta as tarefas de cada fase com o respectivo identificador, a data de início e a duração que devem ser inseridas pelo responsável pela elaboração do cronograma, que no caso é o gerente do PMCI auxiliado pelo setor de projeto. Antes de lançar as datas de início e duração, deve-se anotar os feriados compreendidos durante o tempo de projeto. A data final das tarefas é calculada considerando os feriados e os finais de semana, sendo que os dias úteis são de segunda-feira até sexta-feira, excetuando-se os feriados. Desta forma apresenta-se os dias úteis (dias de trabalho possíveis) e os dias corridos (total de dias incluindo os feriados e finais de semana). Uma linha vertical em vermelho destaca o corrente dia e onde está posicionado no andamento do cronograma, no momento do lançamento das datas e duração, automaticamente se cria o cronograma no estilo gráfico de Gantt. Ao concluir o lançamento de todas as datas e duração das tarefas, pode-se gerar um arquivo pdf (*portable document format*) do cronograma, colocando o nome do projeto, o número do cronograma e clicar no botão gerar pdf do cronograma. A Figura 34 exemplifica as tarefas da primeira fase com as respectivas datas de início e duração lançadas e o gráfico de barras gerado automaticamente. A linha vertical vermelha apresenta o andamento do projeto.

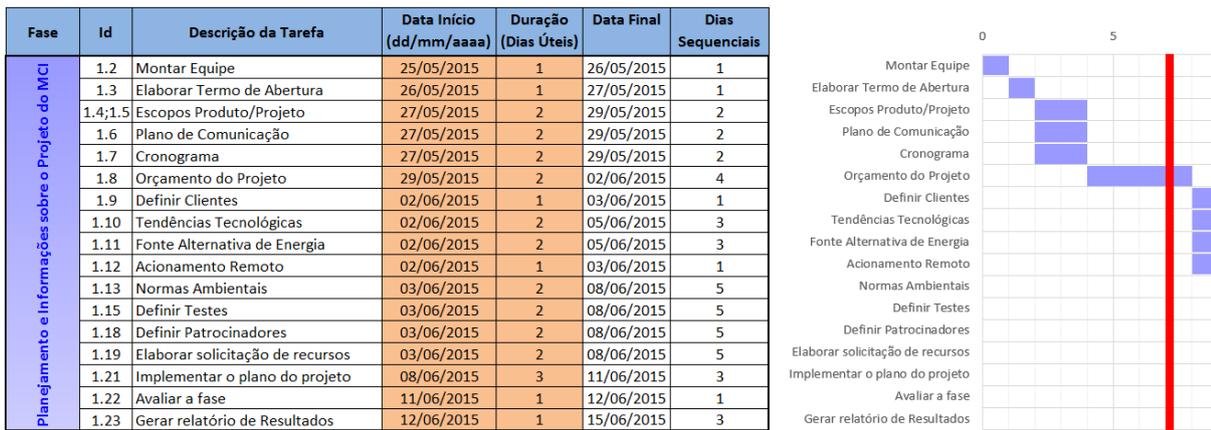


Figura 34 - Elaboração do cronograma no PMCI

Progredindo, segue-se com a tarefa 1.8 que é implementar o orçamento do projeto, sendo uma tarefa de responsabilidade do setor administrativo financeiro. Nas suas três subtarefas deve-se realizar a previsão do custo das atividades e recursos, definir a origem e onde serão armazenados estes recursos, e por fim alocar os recursos financeiros em cada fase do projeto.

Na sequência, se realiza a tarefa com identificador 1.9 sob responsabilidade da equipe de projeto, que é definir os usuários ou clientes do produto. Esta tarefa possui cinco subtarefas nas quais se realiza a identificação dos requisitos do cliente, a conversão dos requisitos de cliente em requisitos de projeto e de produto, a obtenção das especificações e a delimitação das restrições técnicas do projeto, e por fim a hierarquização dos requisitos de projeto e do produto.

Posterior se chega a tarefa com identificador 1.10 que é realizar a análise das tendências tecnológicas possíveis e aplicáveis no motor, está sob a responsabilidade do setor de projeto. Esta tarefa está estruturada por três subtarefas nas quais, inicialmente se destaca as competências da equipe de projeto e verifica se esta tem conhecimento técnico suficiente para prosseguir com o projeto do motor, e após se verifica a necessidade de agregar técnicos ou especialistas à equipe.

Com identificador 1.11 e sob a responsabilidade do setor de qualidade e sustentabilidade é a tarefa de avaliar a possibilidade de utilização de uma fonte alternativa de energia. Esta tarefa possui duas subtarefas nas quais se define qual a fonte de energia deve ser utilizada e como será feita esta interação com o motor de combustão interna.

Evoluindo para a tarefa em que se define se o motor de combustão interna poderá ser acionado de forma remota (telemetria) e como será feito esse acionamento. Está sob responsabilidade do setor de projeto e com identificador 1.12.

Prosseguindo se chega a tarefa com identificador 1.13, que está sob a responsabilidade do setor de qualidade e sustentabilidade, é atarefa de verificar o atendimento de normas vigentes sobre poluição ambiental. Desta forma realizando o controle sobre a emissão de poluentes do motor. Esta tarefa não possui subtarefas.

Na sequência, o setor de manufatura está responsável pela tarefa de definir o volume de produção, que traz como identificador o número 1.14. Esta tarefa não possui subtarefas.

A tarefa com identificador 1.15 é de responsabilidade do setor de projeto, a ação a ser realizada é a delimitação dos testes a serem realizados no motor de combustão interna. Tarefa que não possui subtarefas.

Prosseguindo com a seguinte tarefa que traz por identificador o número 1.16, também sob a responsabilidade do setor de projeto, na qual se define quais os softwares serão utilizados no projeto. Tanto os softwares para desenho, simulação, gerenciamento e armazenamento dos dados. Esta tarefa não possui subtarefas.

A próxima tarefa a ser realizada, também sob a responsabilidade do setor de projeto, tem como identificador o número 1.17. É a tarefa de agrupar todos os requisitos de projeto e do produto. Na sua única subtarefa se faz a verificação da clareza no detalhamento dos requisitos, ou seja, verificar se não existe dúvidas quando o significado dos requisitos.

O setor de comunicação e marketing é o responsável pela tarefa com identificador 1.18. A ação desta tarefa é realizar a elaboração da lista dos possíveis patrocinadores do projeto e a lista com as respectivas solicitações para estes patrocinadores. Possui uma subtarefa que é a ação de solicitar efetivamente o patrocínio.

Progredindo na sequência das tarefas se tem a com identificador de número 1.19 sob a responsabilidade do setor de comunicação e marketing. Esta tarefa é descrita como a ação de elaborar o projeto para realizar a solicitação dos recursos financeiros, caso exista a necessidade de buscar algum órgão fomentador.

Com identificador de número 1.20, sob a responsabilidade do assessor de planejamento e controle, é a tarefa de preparar a elaboração do artigo técnico sobre o projeto do motor.

Posterior se tem a tarefa com identificador 1.21, sob a responsabilidade do gerente do PMCI, é a tarefa de implementar o plano do projeto. A subtarefa é sintetizar os resultados do planejamento do projeto e do produto e documentar estes resultados.

Encaminhando-se para o final da fase, na tarefa com identificador 1.22 sob a responsabilidade da equipe de projeto, se realiza a avaliação da corrente fase. Esta tarefa é formada por quatro subtarefas. Com identificador 1.22.1 a subtarefa de definir se as informações obtidas são suficientes para elaborar o plano de projeto, após esta análise prossegue-se para seguintes subtarefas e se escolhe entre aprovar, cancelar ou reformular a fase. A Figura 35 aclara as tarefas e subtarefas finais da primeira fase.

Finalizando a primeira fase de projeto do motor de combustão interna, a tarefa final é a de identificador 1.23 sob a responsabilidade do assessor de planejamento e controle. A ação da tarefa é gerar o relatório de resultados da fase e registrar as lições no aspecto técnico e na perspectiva da gestão do projeto.

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
	1.22	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	1.22.1	Definir se as informações obtidas são suficientes para elaborar o plano do projeto		
	1.22.2	Aprovar a fase		
	1.22.3	Cancelar a fase		
	1.22.4	Reformular a fase		
	1.23	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e Controle	
	1.23.1	Registrar lições no aspecto técnico		
	1.23.2	Registrar lições no aspecto da gestão do projeto		

Figura 35 - Tarefas e subtarefas finais da primeira fase

Desta forma finaliza-se todas as tarefas e subtarefas da primeira fase e como saída se tem o plano do projeto elaborado e assinado.

4.2 Fase de Geração e Seleção da Concepção do MCI

A geração e seleção da concepção do motor de combustão interna é realizada na segunda fase do projeto. Nesta fase se tem como entrada o resultado da primeira fase, que é o plano do projeto e como saída a concepção do motor de combustão interna. O identificador das tarefas e subtarefas é formado por 2.x.x, sendo que o número 2 representa a segunda fase e os demais dígitos representam a tarefa e a subtarefa, respectivamente.

O fluxograma da fase dois apresenta as principais tarefas e a sequência de realização destas tarefas indicada por meio de flechas. O fluxograma sugere as tarefas que devem ser realizadas primeiramente, as que podem ser realizadas em concomitância, assim como a entrada e a saída da segunda fase de projeto. A Figura 36 indica o fluxograma da fase dois.

Representada na forma de seta, pela parte superior esquerda do fluxograma, a entrada da segunda fase que é o plano do projeto. A primeira tarefa é definir as funções do motor que é seguida com a criação de concepções deste motor.

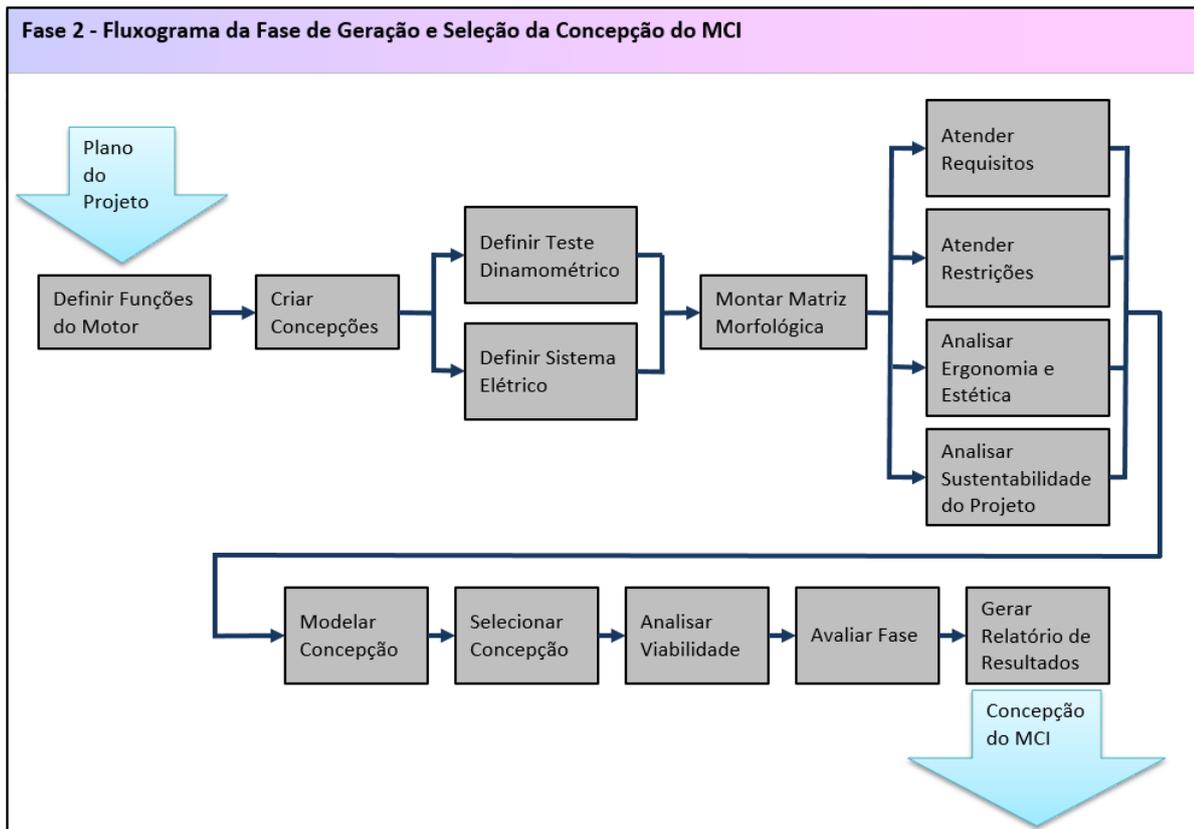


Figura 36 - Fluxograma da segunda fase do PMCI

Concomitante pode-se realizar as tarefas de definição dos testes dinamométricos e a tarefa de definição do sistema elétrico. Posterior a estas a tarefa de montar a matriz morfológica com os princípios de solução do motor.

Simultaneamente realiza-se as tarefas de atender todos os requisitos e restrições, tanto de produto como de projeto, a tarefa de analisar questões de ergonomia e estética e a tarefa de analisar questões de sustentabilidade do projeto.

Finalizada as tarefas anteriores, aparece de forma sequencial as tarefas de modelar a concepção, selecionar a concepção, analisar a viabilidade técnica e econômica da concepção selecionada, a tarefa de avaliação da fase e por fim a geração do relatório de resultados. A saída do fluxograma representada na forma de seta, no lado direito inferior, aparece a concepção do MCI.

A representação da segunda fase do projeto do motor de combustão interna segue o mesmo padrão da primeira fase. O formato é entrada da fase, identificador da fase/tarefa/subtarefa, a descrição da tarefa a ser realizada, o setor responsável pela realização da tarefa e por fim a saída da fase. A Figura 37 mostra a representação da fase dois que possui vinte e duas tarefas.

Todas as tarefas e subtarefas que compõem a segunda fase do projeto de motor de combustão interna podem ser visualizadas no apêndice B.

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
Plano do Projeto	2.1	Definir as funções do motor de combustão interna	Equipe de Projeto	Concepção do MCI
	2.2	Definir a aplicação do motor de combustão interna	Equipe de Projeto	
	2.4	Desenvolver alternativas de motores de combustão interna que atendam as funções	Equipe de Projeto	
	2.5	Delimitar as simulações computacionais	Equipe de Projeto	
	2.6	Definir teste dinamométrico	Montagem e Teste	
	2.7	Caracterizar fonte de tensão para alimentar o sistema elétrico	Projeto	
	2.8	Montar matriz morfológica com os princípios de solução	Projeto	
	2.9	Verificar se atende os requisitos de projeto e produto	Equipe de Projeto	
	2.10	Verificar se atende as restrições de projeto	Equipe de Projeto	
	2.11	Analisar questões estéticas e ergonômicas	Equipe de Projeto	
	2.12	Analisar sustentabilidade do projeto e produto	Qualidade e Sustentabilidade	
	2.13	Definir geometrias dos componentes e sistemas	Projeto	
	2.14	Modelar em software tridimensional (CAD)	Projeto	
	2.15	Criar mockup físico	Equipe de Projeto	
	2.16	Verificar requisitos de fabricação e montagem	Manufatura; Montagem e Teste	
	2.17	Analisar as concepções geradas	Equipe de Projeto	
	2.18	Selecionar a concepção	Equipe de Projeto	
	2.19	Verificar se o conceito escolhido atende todos os requisitos e restrições	Equipe de Projeto	
	2.20	Analisar a viabilidade técnica e econômica	Projeto; Administrativo Financeiro	
	2.21	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	2.22	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e	

Figura 37 - Tarefas da segunda fase do PMCI

Tendo o plano do projeto como gatilho da fase, a primeira tarefa com identificador 2.1 sob a responsabilidade da equipe de projeto é a de definir as principais funções do motor de combustão interna. Ao mesmo passo que é apresentado uma sugestão de estrutura funcional para o motor conforme Figura 38. Ressalta-se que esta é uma sugestão de estrutura funcional e que ao desenvolver projetos diferenciados, a equipe de projeto pode utilizar parcialmente ou complementar a estrutura funcional do motor de acordo com as suas necessidades.

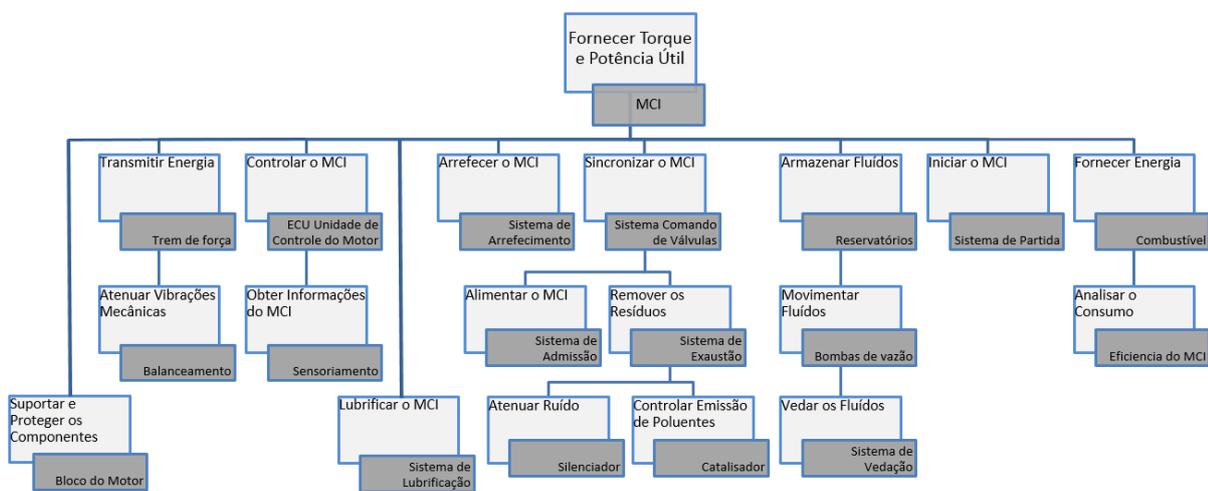


Figura 38 - Estrutura funcional do motor

Percebe-se que a estrutura funcional do motor apresentada, pretende não ser específica ao ponto de limitar a capacidade criativa da equipe. Ao mesmo passo que dependendo das características do motor de combustão interna desejado, pode-se acrescentar funções.

Partindo das funções do motor, no intuito de auxiliar e aumentar a gama de soluções para cada sistema, apresenta-se na Figura 39 uma tabela onde se coloca a função ou sistema do motor na célula da esquerda e para este sistema lista-se pontos que são relevantes, facultativos e dispensáveis. Desta forma cria-se as possibilidades e limitações para cada sistema.

	Relevante	Facultativo	Dispensável
Sistema ou Função do MCI			

Figura 39 - Gerador de Ideias para o sistema ou função do motor

Dando continuidade ao desenvolvimento da segunda fase, sob a responsabilidade da equipe de projeto, a tarefa com identificador 2.2 é definir a aplicação do motor de combustão interna. A tarefa é desdobrada em escolher entre aplicação de movimentar algum veículo, gerar energia e a aplicação para fins didáticos. Prossegue-se com a tarefa de determinar se o motor terá velocidade constante ou variável que está sob a responsabilidade da equipe de projeto.

Posteriormente se segue com a tarefa 2.4 de desenvolver alternativas de motores de combustão interna que satisfaçam e atendam as funções especificadas do motor. Esta tarefa possui 61 subtarefas para auxiliar a equipe de projeto na geração de soluções que sejam satisfatórias. Nesta etapa define-se questões técnicas específicas do motor de combustão interna, como os componentes que serão utilizados, as dimensões destes componentes e peças. Estabelece o combustível que será utilizado e como será o sistema de admissão e escape. Todas as subtarefas desta tarefa estão listadas no apêndice B.

Prosseguindo com a tarefa 2.5, sob responsabilidade da equipe de projeto, em que se delimita as simulações computacionais que serão aplicadas neste motor. Esta tarefa não possui subtarefa. Na sequência é apresentada a tarefa com identificador 2.6, sob a responsabilidade do setor de montagem e teste, que é a tarefa de definir os testes dinamométricos.

A próxima tarefa está identificada pelo número 2.7 e descrita como caracterizar a fonte de tensão para alimentar o sistema elétrico, sob a responsabilidade do setor de projeto. Esta tarefa não possui subtarefas.

Dando continuidade, se tem a tarefa com identificador 2.8 sob a responsabilidade do setor de projeto e descrita como montar a matriz morfológica com os princípios de solução. Após gerada as soluções para cada função do motor, a equipe de projeto deve encontrar, por meio da matriz morfológica, as combinações adequadas dos princípios de soluções encontrados.

A Figura 40 mostra a dinâmica da matriz morfológica, na qual foi gerado duas combinações de princípios C1 e C2 ao agrupar os princípios de soluções para cada função do motor de combustão interna. No caso, a combinação de princípios C1 foi gerada pela união da solução 11, mais a solução 22, mais a solução 32 até a solução i1 (indicado pela linha que chega até a combinação de princípio C1).

Função		Princípio de Solução				
		1	2	3	...	j
1	Função 1	Solução 11	Solução 12	Solução 13	...	Solução 1j
2	Função 2	Solução 21	Solução 22	Solução 23	...	Solução 2j
3	Função 3	Solução 31	Solução 32	Solução 33	...	Solução 3j
⋮	
i	Função i	Solução i1	Solução i2	Solução i3	...	Solução ij
Combinação de Princípios		C1	C2			

Figura 40 - Matriz morfológica com a combinação dos princípios de solução

A próxima tarefa com identificador 2.9 está sob a responsabilidade da equipe de projeto. Nesta tarefa se deve verificar se as soluções atendem os requisitos de projeto e do produto. Na sequência a tarefa com identificador 2.10, também sob a responsabilidade da equipe de projeto, é verificar se atende as restrições de projeto. Também sob responsabilidade da equipe de projeto e com identificador 2.11, a tarefa é descrita como analisar as questões estéticas e ergonômicas do motor. Estas tarefas não possuem subtarefas.

Prosseguindo, a tarefa com identificador 2.12 e sob a responsabilidade do setor de qualidade e sustentabilidade é analisar a sustentabilidade do projeto e do produto, definindo onde pode ser minimizado os impactos ambientais gerados pelo projeto e pelo produto.

O responsável pela tarefa com identificador 2.13 é o setor de projeto, na qual este deve definir as geometrias dos componentes e dos sistemas do motor de combustão interna. Ainda sob a responsabilidade do setor de projeto, na tarefa 2.14 deve ser modelado tridimensionalmente em software CAD os sistemas e componentes, definindo as geometrias

destas peças. Havendo a possibilidade, a equipe de projeto pode criar um *mockup* que é a representação físico e geométrica do motor.

Na sequência, a tarefa com identificador de número 2.16 está sob a responsabilidade do setor de manufatura em conjunto com o setor de montagem e teste. Esta tarefa é descrita como verificar os requisitos de fabricação e montagem do motor, sendo que esta tarefa não possui subtarefas.

Com identificador 2.17 e sob a responsabilidade da equipe de projeto, a tarefa é realizar a análise das concepções geradas. Para isto, esta tarefa possui cinco subtarefas que em conjunto se analisa sobre o atendimento do desempenho desejado quando o motor estiver em operação, desta forma se analisa questões como potência, torque, rotação e ruído. Seguido da análise das questões relacionadas com a fabricação e montagem do motor, da mesma forma que se verifica o custo e a qualidade destas concepções geradas.

Dando continuidade na segunda fase de projeto do motor de combustão interna, apresenta-se a tarefa com identificador 2.18 sob a responsabilidade de toda a equipe de projeto e descrita como selecionar a concepção dentre as geradas. Nas subtarefas que seguem esta tarefa, se compara e valora as alternativas de soluções, visualiza as concepções na matriz de decisão e finalmente seleciona a concepção adequada.

Acessada por meio da subtarefa 2.18.2, a matriz de decisão apresentada na Figura 41 é utilizada para confrontar e valorar as concepções geradas e como resultado será selecionada a concepção que apresentar maior valor numérico no campo somatório.

A análise e seleção da concepção adequada, dentre as geradas, é feita pela equipe de projeto com o auxílio de uma matriz de decisão. Cada concepção deverá ser analisada e atribuído um valor entre: Não atende (0), Atende fracamente (1), Atende medianamente (2) e Atende fortemente (3). Este valor é atribuído ao analisar a concepção sob o ponto de atendimento dos itens: requisitos do produto, requisitos do projeto, restrições do projeto, manufatura, tempo, qualidade, sustentabilidade, emissões de poluentes, ergonomia e estética e custo. Aos valores atribuídos para cada item da concepção analisada, faz-se o somatório, sendo que a de maior valor numérico poderá ser a escolhida.

Descrição	Valor
Não atende	0
Atende fracamente	1
Atende medianamente	2
Atende fortemente	3

	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3	...	Concepção n
Requisitos de Produto					
Requisitos de Projeto					
Restrições de projeto					
Manufatura					
Tempo					
Qualidade					
Sustentabilidade					
Emissões de poluentes					
Ergonomia e Estética					
Custo					
Somatório					

Figura 41 - Matriz de decisão entre as concepções geradas

Evoluindo nas tarefas, se apresenta a tarefa sob a responsabilidade da equipe de projeto, com identificador 2.19 e descrita como verificar se o conceito escolhido atende todos os requisitos e restrições de projeto e do produto. Esta tarefa serve para confirmar que a concepção escolhida está adequada e evitar uma escolha inapropriada.

Com identificador 2.20 a tarefa de analisar a viabilidade técnica e econômica é de responsabilidade do setor de projeto em conjunto com o setor administrativo financeiro. Possui duas subtarefas nas quais se verifica se é possível desenvolver a concepção selecionada no tempo disponível e verifica se os recursos financeiros custearão o projeto e o produto.

Encaminhando-se para o final da segunda fase de projeto, a equipe de projeto deve realizar a avaliação da fase que se encerra. Esta é a tarefa com identificador 2.21 descrita como avaliar a fase. A equipe de projeto deve definir se a concepção gerada e escolhida, atende todos os requisitos de cliente, de projeto e manufatura. Posterior a isto, a equipe escolhe entre aprovar, cancelar e reformular a fase. A Figura 42 indica as tarefas e subtarefas finais da fase de geração e seleção da concepção do MCI.

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
	2.21	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	2.21.1	Definir se a concepção atende todos os requisitos de cliente, projeto e manufatura		
	2.21.2	Aprovar a fase		
	2.21.3	Cancelar a fase		
	2.21.4	Reformular a fase		
	2.22	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e Controle	
	2.22.1	Registrar lições no aspecto técnico		
	2.22.2	Registrar lições no aspecto da gestão do projeto		

Figura 42 - Tarefas e subtarefas finais da segunda fase

Finalizando a fase se tem a tarefa de gerar o relatório de resultados da fase, com identificador 2.22 e sob a responsabilidade do assessor de planejamento e controle. Para auxiliar na conclusão se deve registrar as lições no aspecto técnico e por fim registrar as lições no aspecto da gestão do projeto.

Após avaliada e aprovada a fase tem como saída a concepção do motor de combustão interna aprovada.

4.3 Fase de Detalhamento da Concepção do MCI

Como entrada da terceira fase do projeto do motor de combustão interna, que é a fase de detalhamento da concepção que foi selecionada anteriormente na fase 2, se tem a concepção do MCI e como saída a concepção detalhada do MCI. O identificador das tarefas e subtarefas é no formato 3.x.x, sendo que o número 3 representa a terceira fase de projeto do motor de combustão interna e os demais dígitos correspondem as tarefas e subtarefas, respectivamente. O fluxograma representado na Figura 43 mostra as relações das tarefas.

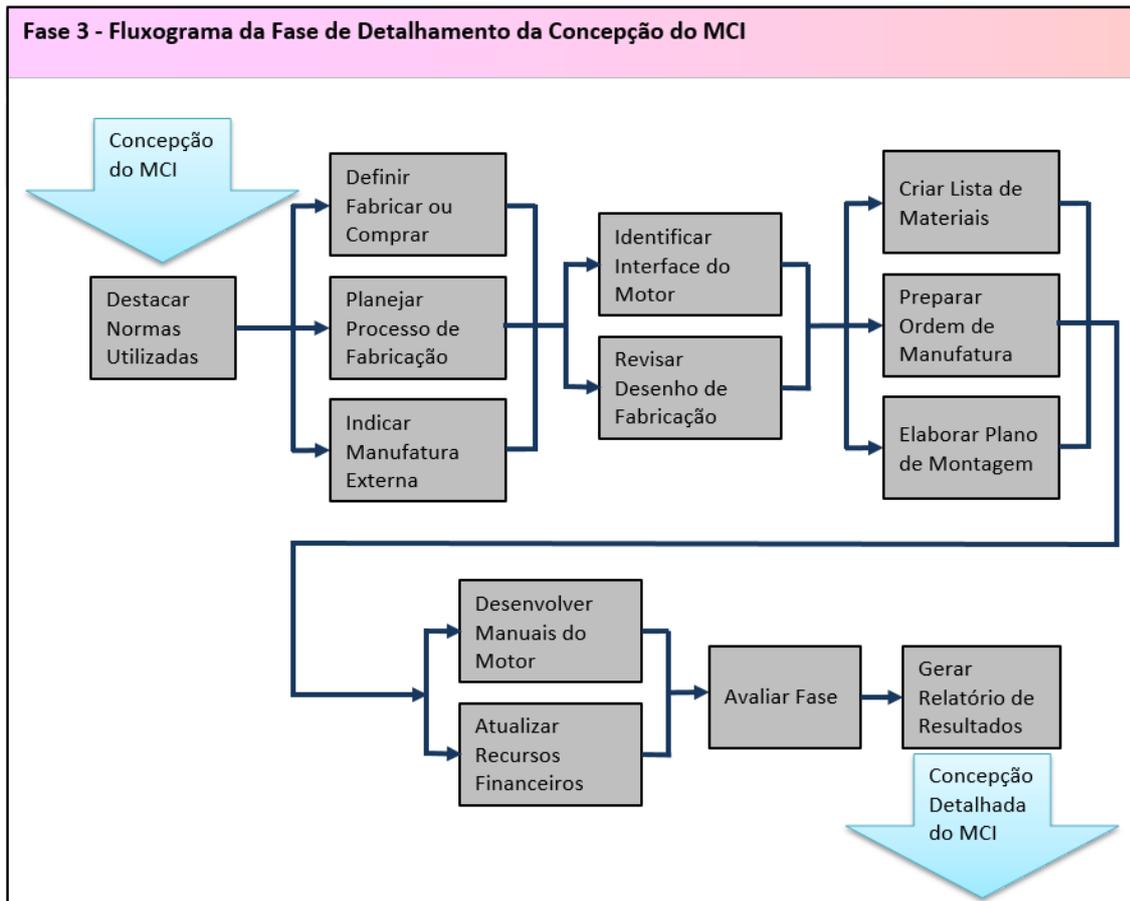


Figura 43 - Fluxograma da terceira fase do PMCI

Representado na forma de seta, na parte superior esquerda do fluxograma, aparece a concepção do MCI que é a entrada da fase. Seguida da tarefa de destacar as normas utilizadas. Na sequência aparece de forma concomitante as tarefas de definir entre fabricar o comprar os componentes, a tarefa de planejar o processo de fabricação e a tarefa de indicar a manufatura externa das peças e componentes.

Posteriormente se tem as tarefas de identificar a interface do motor e a tarefa de revisar os desenhos de fabricação.

Já as tarefas de criar a lista de materiais, a tarefa de preparar as ordens de manufatura e a tarefa de elaborar o plano de montagem podem ser realizadas simultaneamente.

Prosseguindo, se apresenta as tarefas de desenvolver os manuais do motor de combustão interna em conjunto com a tarefa de atualizar os recursos financeiros do projeto.

Finalizando se tem a tarefa de avaliação da fase seguida da tarefa de geração do relatório de resultados. Como saída do fluxograma também na forma de seta, na parte inferior direita aparece a concepção detalhada do MCI.

A representação da terceira fase do projeto segue o mesmo padrão e está ilustrado na Figura 44. Já as tarefas e subtarefas em sua completude são listadas no apêndice C.

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
Concepção do MCI	3.1	Destacar normas e resoluções que devem ser utilizadas (ISO, Emissões (Proconve), GD&T...)	Equipe de Projeto	Concepção Detalhada do MCI
	3.2	Detalhar os componentes e sistemas do MCI	Projeto; Manufatura; Montagem e Teste	
	3.3	Planejar o processo de fabricação e montagem dos componentes e sistemas	Manufatura; Montagem e Teste	
	3.4	Definir entre fabricar ou comprar cada componente	Projeto; Manufatura; Administrativo	
	3.5	Indicar componentes/sistemas que serão manufaturados	Projeto; Manufatura	
	3.6	Indicar componentes/sistemas que serão comprados	Projeto; Administrativo Financeiro	
	3.7	Indicar operações de manufatura que serão realizadas externamente (terceiros)	Projeto; Manufatura	
	3.8	Identificar as interfaces do MCI	Equipe de Projeto	
	3.9	Revisar desenhos de fabricação do MCI	Projeto; Manufatura	
	3.10	Criar a lista de materiais (BOM)	Projeto	
	3.11	Preparar a ordem de manufatura dos componentes	Manufatura	
	3.12	Elaborar o plano de montagem do MCI	Montagem e Teste	
	3.13	Desenvolver o manual de operação e manutenção do MCI	Montagem e Teste	
	3.14	Atualizar os recursos financeiros do projeto	Administrativo Financeiro	
	3.15	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	3.16	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e	

Figura 44 - Tarefas da terceira fase do PMCI

A concepção do motor de combustão interna é a entrada da terceira fase do projeto. A partir desta entrada a primeira tarefa da fase possui identificador 3.1 e está sob a responsabilidade de toda a equipe de projeto. Esta tarefa é descrita como destacar normas e resoluções que devem ser utilizadas, por exemplo, normas internacionais, normas de tolerâncias geométricas, regulamentações de emissões e dimensionais e demais normas necessárias para o projeto.

Na sequência, os setores de projeto em conjunto com o de manufatura e o de montagem e teste, são os responsáveis pela tarefa com identificador 3.2. Tarefa que está descrita como detalhar os componentes e sistemas do motor de combustão interna. Para concluir esta tarefa deve-se dimensionar os componentes e sistemas do motor, e modelar em software tridimensional (CAD). Prosseguindo com o esboço partindo da peça bruta e atribuir o material, significa considerar o material base que será utilizado na manufatura e prever o número de operações. Também se deve especificar as tolerâncias dos componentes do motor, que é seguida pela definição das tolerâncias dimensionais, geométricas e a rugosidade aceitável dos componentes a serem fabricados. Na sequência realiza-se a montagem do motor de combustão interna em software CAD. A subtarefa de simulação dos componentes e sistemas do motor, na qual, como exemplo, se pode simular a combustão ou o tempo de abertura e fechamento das válvulas do MCI. Já a subtarefa seguinte refere-se especificamente a simular os componentes mecânicos do motor. Posterior, a simulação dos sistemas de fluídos e a simulação do sistema eletroeletrônico. Ao final da tarefa se realiza o processo de otimização e a criação de uma codificação para os componentes e sistemas do motor.

Na etapa de detalhamento dos componentes e sistemas sugere-se a criação de códigos para auxiliar na organização e identificação dos arquivos criados, mais especificamente a subtarefa 3.2.12. A Figura 45 apresenta uma sugestão de formato da nomeação dos documentos, em que para cada tipo de documento se tem uma sigla e um número de ordem cronológica. Todos arquivos iniciariam com a letra “M” de motor, mais a ordem cronológica, seguido da sigla da descrição do documento com a ordem cronológica. Desta maneira, a sigla de exemplo M01_CRO02, significa o cronograma 02 do motor 01.

MXX_(Sigla)XX

Sigla	Significado/Descrição
XX	Ordem cronológica dos documentos, aparece em todos os documentos
CRO	Cronograma
DEC	Desenho de componente
DEF	Desenho de fabricação
EE	Esquema elétrico
ESC_PD	Escopo do produto
ESC_PJ	Escopo do projeto
M	Motor de combustão interna
MA	Manual (montagem, operação, manutenção...)
MC	Memorial de cálculo
PM	Plano de manufatura
RG	Relatório geral
RM	Requisição de material
SIC	Simulação de componente
SPI	Solicitação de patrocínio e investimento
TA	Termo de Abertura
Ex:	Significado/Descrição
M01_TA01	Refere-se ao termo de abertura do motor 01
M01_DEC03	Refere-se ao desenho de componente 03 do motor 01

Figura 45 - Codificação dos componentes e sistemas

Criado a codificação, continua com a sub tarefa 3.2.13 que é descrita como montar a lista com o respectivo código, o componente e sistema do motor. Posterior se realiza a nomeação dos documentos conforme o código definido e por fim a geração dos desenhos de fabricação dos componentes.

As tarefas de planejamento do processo de fabricação e montagem dos componentes e sistemas está alocada aos setores de manufatura em conjunto com o setor de montagem e teste. Identificada com o número 3.3 esta tarefa possui três subtarefas nas quais se define o processo de fabricação para cada componente, o local de fabricação e por fim se aloca as máquinas e operados para cada componente a ser fabricado.

Prossegue-se com a tarefa de identificador 3.4 que é de responsabilidade dos setores de projeto, manufatura, administrativo financeiro e também o setor de qualidade e sustentabilidade. Está é a tarefa de definir entre fabricar ou comprar cada componente do motor. Associada a esta tarefa, se deve levantar o custo, tempo e capacidade de fabricação de cada componente, obter o custo da matéria prima, do processo de fabricação, da mão de obra especializada e do ferramental a ser utilizado. Também considerar custos extras como transporte e armazenamento, o custo de compra e de frete de cada componente, comparar o

custo de fabricar e comprar cada componente e por fim decidir entre fabricar ou comprar os componentes do motor.

Vale ressaltar neste ponto, que no caso do custo de fabricação ser superior ao de compra, mas a equipe julgar que haja o interesse e necessidade de fabricação por questões de domínio de processo de fabricação ou projeto, pode-se optar por fabricar.

Posterior se tem a tarefa com identificador 3.5 descrita como indicar os componentes ou sistemas que serão manufaturados, esta tarefa é de responsabilidade dos setores de projeto e manufatura. Nas subtarefas associadas se verifica a possibilidade de fabricar internamente, e define onde e como será fabricado (qual processo de fabricação). Define a fabricação de moldes e modelos (no caso de fundição), a matéria prima a ser utilizada, se elabora o plano de manufatura e define a dimensão da peça bruta que vai ser utilizada já considerando o sobremetal. As sequências de operações de fabricação devem ser hierarquizadas, estabelecendo as máquinas, equipamentos e ferramental, assim como o técnico responsável pela fabricação. A otimização do processo de manufatura é ponto a ser analisado para evitar desperdícios de tempo e recursos, e por fim obter o número de componentes que serão manufaturados.

Evoluindo na terceira fase do projeto, a tarefa com identificador 3.6 está sob a responsabilidade dos setores de projeto e o administrativo financeiro. Descrita como indicar os sistemas ou componentes que serão comprados. Realiza-se a identificação se existe item igual ou semelhante disponível no mercado, definir se vai ser comprado, onde será comprado e quem é o responsável pela compra. Feito isso, se monta o pedido de compra e por fim se faz o levantamento do número de componentes comprados.

A obtenção do número total de componentes manufaturados na sub tarefa com identificador 3.5.12 e também do número total de itens comprados na sub tarefa 3.6.6, disponibilizará informações úteis para montar o gráfico de análise do projeto do MCI.

As informações iniciais do planejamento, necessárias para elaborar a análise do projeto são o custo estimado do motor, o tempo para conclusão do projeto que é retirado automaticamente da elaboração do cronograma, a complexidade do projeto que é representada pelo número de componentes e a novidade do projeto para a equipe sendo representada pelo número de componentes fabricados. Ao final do projeto os valores reais são lançados e se faz um comparativo entre o planejado e o real ocorrido. Estas informações são inseridas na tabela para gerar o gráfico e analisar as quatro variáveis consideradas que são: custo, tempo, complexidade e novidade.

Como resultado da análise pode se ter um aumento, quando o valor final da variável for maior que o planejado e então será representado em vermelho. Uma redução quando o valor final da variável for menor que o planejado e então representado em verde. E por fim o ideal quando o valor final da variável for igual ao planejado e desta forma representado em amarelo. A Figura 46 representa um exemplo de análise do projeto, em que aparece no interior do gráfico duas esferas, a com maior transparência representa o planejado e a em cores fortes representa o valor real. A parcela externa da esfera em azul representa a complexidade (número de componentes) e a parte interna em vermelho representa a novidade (componentes fabricados). Quando maior for a esfera interna, maior é o número de componentes manufaturados e no caso de todos os componentes serem fabricados, a parcela em vermelho se sobreporá a parcela azul. Quanto maior a esfera interna, maior o controle da equipe sobre os componentes fabricados.

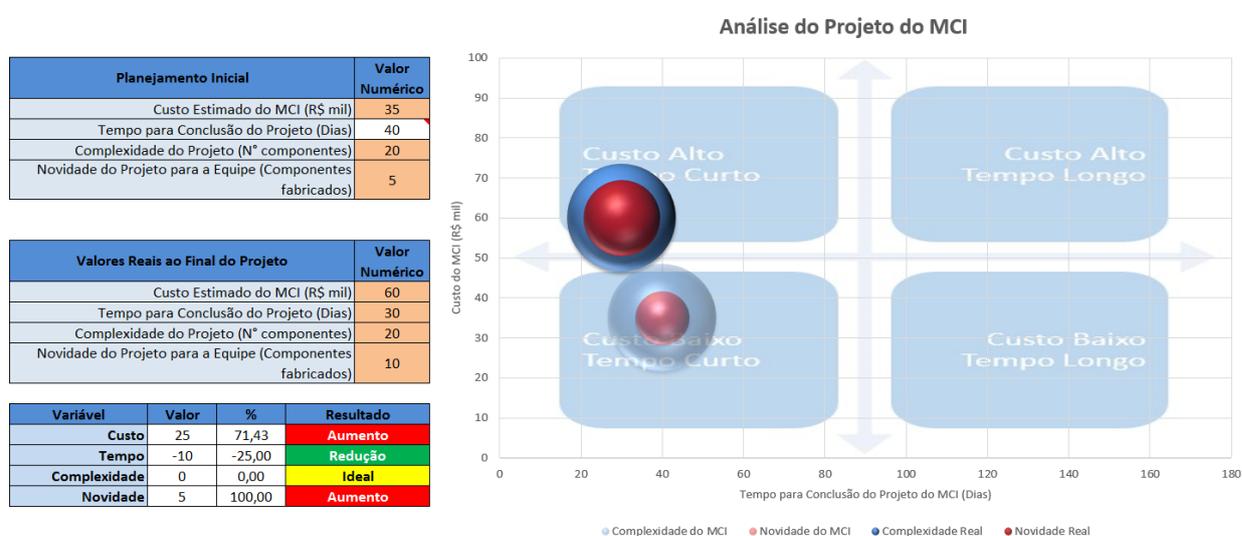


Figura 46 - Representação da Análise do Projeto do MCI

No campo de análise das variáveis na tabela da Figura 46 pode-se verificar o valor e a porcentagem com relação ao valor planejado que foi aumentado ou reduzido. Em caso de valor ideal não se tem aumento ou redução. A área interna da representação gráfica indica quatro possibilidades para análise com relação ao tempo e ao custo do projeto. No tempo, de zero até 90 dias é considerado tempo curto, já acima de 90 até 180 dias é considerado tempo longo. Na

vertical o eixo custo, de zero até 50 mil reais são considerados baixo custo e acima de 50 mil reais é considerado alto custo.

Com identificador de número 3.7 e alocada aos setores de projeto e manufatura, a tarefa é indicar as operações de manufatura que serão realizadas externamente, ou seja, em quais as empresas terceirizadas serão manufaturas as peças. Esta tarefa não possui subtarefas associadas.

Dando continuidade, a tarefa de identificar as interfaces do motor de combustão interna está sob a responsabilidade da equipe de projeto e o seu identificador é o 3.8. Esta tarefa possui subtarefas que a integram, onde se define onde e como será aplicado o motor. Realiza-se o desenvolvimento do dispositivo de fixação e transporte, se define o local de armazenamento e finalmente se estabelece o modo de acionamento e operação do motor.

Prosseguindo com a próxima tarefa de identificador 3.9, sob a tutela dos setores de projeto e manufatura, onde se deve revisar os desenhos de fabricação do motor de combustão interna. Definir se há a necessidade de alteração no desenho de fabricação, verificar se acarreta alterações em outro desenho, posterior a isso se realiza todas as alterações necessárias e por fim verifica se o projeto está adequado.

Posteriormente a tarefa com identificador 3.10 é a de criar a lista de materiais (*BOM - Bill Of Materials*), que está sob a responsabilidade do setor de projeto. Esta tarefa não possui subtarefas.

Dando continuidade, a próxima tarefa é a com identificador 3.11, especificada como preparar a ordem de manufatura dos componentes e sob a responsabilidade do setor de manufatura em conjunto com o setor administrativo financeiro. Esta tarefa possui uma subtarefa agregada que é a ação de comprar o material para o processo de manufatura, isto inclui a matéria prima e o ferramental necessário.

Na fase de detalhamento, antevendo a atividade de montagem, o setor de montagem e teste deve elaborar o plano de montagem do motor de combustão interna na tarefa com identificador 3.12. A partir disso, se define a sequência de montagem, se elabora a lista de ferramentas necessárias para a montagem e a preparação do manual de montagem do motor. Ainda sob a responsabilidade do setor de montagem e teste está a tarefa com identificador 3.13 que é desenvolver o manual de operação e manutenção do MCI. A elaboração dos manuais pretende facilitar as futuras operações de montagem, operação e manutenção de pessoas que não estão diretamente envolvidas no projeto.

Evolui-se para a tarefa com identificador 3.14 descrita como atualizar os recursos financeiros do motor que está delegada para o setor administrativo financeiro. Nas subtarefas que seguem, os responsáveis devem verificar se os recursos planejados serão suficientes e se há a necessidade de galgar novos investidores ou patrocinadores para o projeto.

Encaminhando-se para o final da terceira fase, a equipe de projeto é responsável pela tarefa com identificador 3.15 definida como avaliar a fase. Esta tarefa possui quatro subtarefas conforme indicado na Figura 47.

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
	3.15	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	3.15.1	Definir se a concepção detalhada está adequada para a manufatura		
	3.15.2	Aprovar a fase		
	3.15.3	Cancelar a fase		
	3.15.4	Reformular a fase		
	3.16	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e Controle	
	3.16.1	Registrar lições no aspecto técnico		
	3.16.2	Registrar lições no aspecto da gestão do projeto		

Figura 47 - Tarefas e subtarefas finais da terceira fase

Na subtarefa com identificador 3.15.1 a equipe de projeto deve definir se a concepção detalhada está adequada para a manufatura e seguir entre a escolha de uma das seguintes alternativas: aprovar, cancelar ou reformular a fase.

Ao final da fase, o assessor de planejamento e controle, na tarefa 3.16 deve gerar o relatório de resultados da fase, como também executar o registro das lições no aspecto técnico e na gestão do projeto. Como saída a fase de detalhamento da concepção do motor de combustão interna tem a concepção detalhada do motor pronta para iniciar a manufatura.

4.4 Fase de Manufatura do MCI

A saída da terceira fase do projeto do motor de combustão interna alimenta a fase de manufatura do MCI. Como entrada desta quarta fase do projeto do motor se tem a concepção detalhada do MCI. Já como saída a quarta fase dispõe os componentes manufaturados e comprados. O fluxograma representado na Figura 48 indica a entrada, as tarefas e a saída da fase.

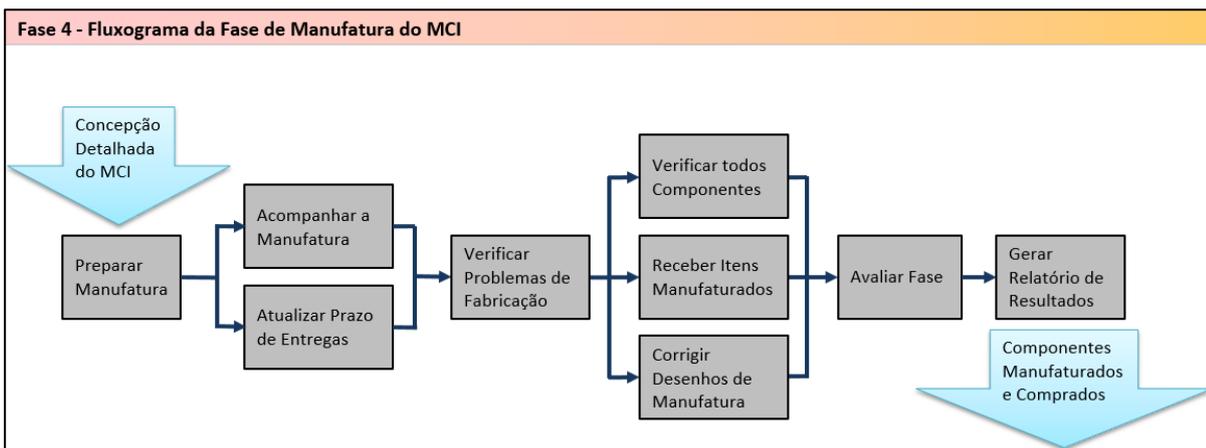


Figura 48 - Fluxograma da quarta fase do PMCI

Na parte superior esquerda do fluxograma se tem a concepção detalhada do MCI que é a entrada da fase e que dispara a tarefa de preparar a manufatura. Concomitantemente realiza-se as tarefas de acompanhar a manufatura e a tarefa de atualizar o prazo de entregas.

Prossegue-se com a tarefa de verificar os problemas de fabricação e logo de forma simultânea as tarefas de verificar todos os componentes do motor, a tarefa de receber os itens manufaturados e a tarefa de corrigir desenhos de manufatura.

Finalizando segue a avaliação da fase e a geração do relatório de resultados. Como saída o fluxograma apresenta na parte direita inferior os componentes manufaturados e comprados do motor.

O identificador das tarefas e subtarefas desta fase segue a sequência 4.x.x, na qual o número 4 representa a quarta fase de projeto e os demais dígitos a tarefa e subtarefa respectivamente. A Figura 49 indica as tarefas da quarta fase de projeto do motor. Já a representação completa da fase, com todas as tarefas e subtarefas pode ser verificado no apêndice D.

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
Concepção Detalhada do MCI	4.1	Planejar e preparar a manufatura dos componentes	Gerente do PMCI; Manufatura	Componentes Manufaturados e Comprados
	4.2	Acompanhar a fabricação dos componentes	Qualidade e Sustentabilidade	
	4.3	Atualizar lista e prazo de entrega dos itens comprados	Administrativo Financeiro	
	4.4	Verificar e documentar problemas de fabricação	Qualidade e Sustentabilidade	
	4.5	Aprovar e receber itens manufaturados	Projeto; Manufatura; Montagem e Teste	
	4.6	Revisar/corrigir desenhos de manufatura	Projeto	
	4.7	Verificar se todos componentes foram fabricados e comprados	Manufatura; Administrativo	
	4.8	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	4.9	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e	

Figura 49 - Tarefas da quarta fase do PMCI

Na entrada a fase apresenta a concepção detalhada do MCI, que dá início à primeira tarefa da quarta fase com identificador 4.1 e descrita como planejar e preparar a manufatura dos componentes. Esta tarefa é de responsabilidade do gerente do PMCI em conjunto com o setor de manufatura. Para realizar o planejamento e preparação da manufatura inicialmente se deve verificar e separar a matéria prima e o ferramental necessário, verificar a disponibilidade de máquinas e operadores, e posteriormente alocar a máquina e o operador para a realização do processo de fabricação. Atualizar o cronograma com base na alocação das máquinas e atualizar o orçamento do projeto. Na sequência se deve agrupar o desenho de fabricação com a respectiva ordem de manufatura, anexar o desenho de projeto com a respectiva matéria prima, conferir o

desenho de fabricação, a matéria prima e a ordem de manufatura, e posteriormente fazer a liberação da fabricação.

O setor de qualidade e sustentabilidade deve acompanhar a fabricação dos componentes ao passo que elabora os relatórios sobre o andamento do processo de fabricação. A tarefa de acompanhar o processo de fabricação dos componentes possui identificador 4.2 e a responsabilidade é do setor de qualidade e sustentabilidade. Associada a esta tarefa se tem uma subtarefa com identificador 4.2.1 que é a elaboração de relatórios sobre o andamento da fabricação.

Posterior segue-se com a tarefa de identificador 4.3, descrita como atualizar a lista e o prazo de entrega dos itens comprados. Esta tarefa está sob a tutela do setor de administrativo financeiro e possui uma subtarefa que é verificar e receber os itens comprados.

Dando continuidade, a próxima tarefa possui identificador 4.4 e é de responsabilidade do setor de qualidade e sustentabilidade. A ação a ser realizada é de verificar e documentar os problemas de fabricação. Caso ocorra algum imprevisto na fabricação deve-se investigar a origem do problema, analisar as falhas causadas por este defeito, realizar a ação corretiva no problema e finalmente otimizar o processo de fabricação para que não mais ocorra tais problemas.

Os setores de projeto, manufatura e o setor de montagem e testes são os responsáveis pela tarefa de aprovação e recebimento dos itens manufaturados. Para concluir a tarefa 4.5 é necessário realizar a inspeção visual nas peças recebidas, fazer ensaios não destrutivos nas peças (END), verificar o dimensional com o equipamento adequado, pesar o item aceito e registrar, adicionar a etiqueta com o código do item e armazenar o item verificado. O armazenamento dos componentes deverá ser feito após a pesagem, registro e codificação das peças recebidas.

O setor de projeto deve realizar a revisão e correção dos desenhos de manufaturas que necessitem de tal procedimento, no caso de peças que apresentem defeitos ocasionados por inconsistências nos desenhos. Para isso se tem a tarefa com identificador 4.6 que é revisar e corrigir os desenhos de manufatura, caso tenha ocorrido algum erro.

Prosseguindo, o setor de manufatura e o setor administrativo financeiro analisam se todos os componentes do motor foram fabricados e comprados, comparando com a lista de materiais elaborada. Esta é a tarefa 4.7 que não possui subtarefas associadas.

Finalizando a quarta fase de projeto do motor de combustão interna se chega a tarefa com identificador 4.8 e descrita como avaliar a fase. A Figura 50 ilustra as tarefas e subtarefas finais da fase.

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
	4.8	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	4.8.1	Definir se todos componentes/sistemas estão disponíveis para a montagem		
	4.8.2	Aprovar a fase		
	4.8.3	Cancelar a fase		
	4.8.4	Reformular a fase		
	4.9	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e Controle	
	4.9.1	Registrar lições no aspecto técnico		
	4.9.2	Registrar lições no aspecto da gestão do projeto		

Figura 50 - Tarefas e subtarefas finais da quarta fase

A equipe de projeto define, na subtarefa com identificador 4.8.1, se todos os componentes e sistemas estão disponíveis para a montagem do motor de combustão interna. Realizada esta avaliação opta entre aprovar, cancelar ou reformular a fase.

Posterior a isto, o assessor de planejamento e controle é o responsável pela tarefa final, com identificador 4.9 e descrita como gerar o relatório de resultados da fase. Para complementar a finalização da fase registra-se as lições no aspecto técnico e no âmbito da gestão do projeto.

Ao finalizar a quarta fase do projeto, após a avaliação aprovada e os relatórios gerados, se tem como saída os componentes manufaturados e comprados, possibilitando o início da próxima fase do projeto do motor.

4.5 Fase de Montagem e Teste do MCI

A fase de montagem e teste do MCI representa a quinta fase do projeto do motor de combustão interna, tem como entrada todos os componentes manufaturados e comprados na fase anterior e como saída o motor de combustão interna montado e testado. O fluxograma da quinta fase de projeto indica a entrada, as tarefas conectadas por meio de setas e a saída da fase representados na Figura 51.

No lado esquerdo superior tem a descrição da entrada que são os componentes manufaturados e comprados, em consonância as tarefas de alocar técnicos de montagem, revisar manual e identificar os componentes.

Prossegue-se com a tarefa de iniciar a montagem do motor, posteriormente de forma sincronizada as tarefas de alocar técnicos de teste, preparar material e revisar a montagem do motor.

Sequencialmente as tarefas de iniciar o teste, concluir o teste, avaliar a fase e gerar o relatório de resultados da fase. Finalizado com a saída na parte inferior direita o motor de combustão interna montado e testado.

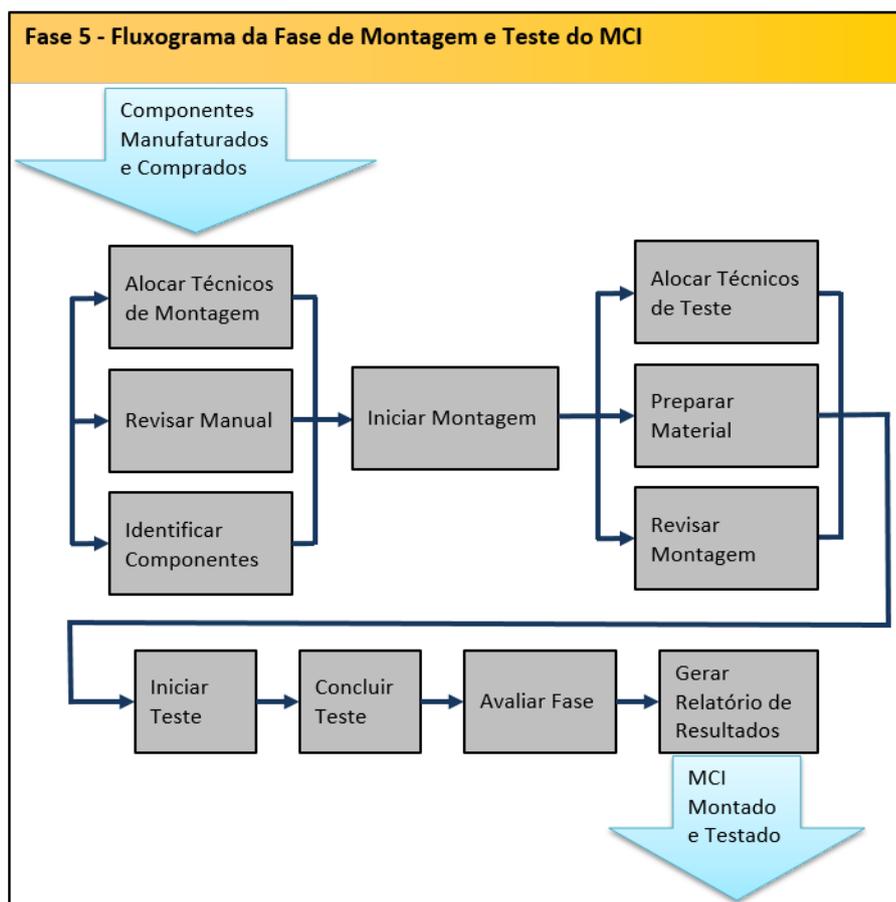


Figura 51 - Fluxograma da quinta fase do PMCI

O identificador da quinta fase é formado pelo número 5 mais os dois dígitos indicadores das tarefas e subtarefas, no formato 5.x.x. A representação da entrada, identificador (Id), tarefa, responsável e saída da quinta fase de projeto está na Figura 52.

Para visualizar todas as tarefas e as subtarefas que complementam as ações a serem realizadas na quinta fase de projeto, é necessário consultar o apêndice E.

Os componentes manufaturados e comprados na fase anterior são os instrumentos de início da quinta fase de projeto do motor. Desta forma, na entrada da fase aparece a descrição como sendo os componentes manufaturados e comprados, que proporcionarão o início da primeira tarefa a ser realizada até se chegar ao motor montado e testado.

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
Componentes Manufaturados e Comprados	5.1	Alocar técnicos para montagem do motor	Gerente do PMCI; Montagem e Teste	MCI Montado e Testado
	5.2	Revisar o manual de montagem	Montagem e Teste	
	5.3	Identificar os componentes através do código da etiqueta	Qualidade e Sustentabilidade	
	5.4	Iniciar a montagem/desmontagem do MCI	Montagem e Teste	
	5.5	Alocar técnicos para teste do motor	Gerente do PMCI; Montagem e Teste	
	5.6	Preparar material para teste do motor	Montagem e Teste	
	5.7	Revisar montagem e instrumentação do MCI	Montagem e Teste	
	5.8	Iniciar o teste do motor em operação	Montagem e Teste	
	5.9	Concluir testes do motor	Gerente do PMCI; Montagem e Teste	
	5.10	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	5.11	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e	

Figura 52 - Tarefas da quinta fase do PMCI

Para alcançar o objetivo de obter o motor montado e estado, no início da fase o gerente do projeto juntamente com o setor de montagem e teste, deve alocar os técnicos para realizar a montagem do produto. Representada pela tarefa com identificador 5.1, para concluí-la é necessário preparar a bancada de montagem, definir os equipamentos de proteção individual e coletiva (EPI e EPC) que serão utilizados, separar o ferramental para realizar montagem, agrupar as ferramentas e chaves que serão utilizadas na montagem e posteriormente agrupar os consumíveis que serão necessários como lubrificantes e equipamentos de limpeza.

O setor de montagem e teste deve realizar a revisão do manual de montagem antes deste ser liberado para os montadores. É a ação da tarefa com identificador 5.2 que deve ser realizada para que não se interrompa a montagem por falta de recursos.

Dando continuidade, o setor de qualidade e sustentabilidade deve realizar a identificação dos componentes por meio da codificação inserida em cada item, separar, inspecionar e liberar os recursos para a montagem do motor. Estes passos estão descritos na tarefa com identificador 5.3 e as nas suas subtarefas associadas.

A montagem deve ser iniciada sob a tutela do setor de montagem e teste, que deve identificar e otimizar possíveis problemas de montagem, concluir a montagem do motor, gerar

o relatório descrevendo os problemas e também sugestões para o processo de montagem. A tarefa com identificador 5.4 e as suas três subtarefas descrevem o explanado.

Posteriormente, a tarefa de alocar os técnicos para os testes do motor, com identificador 5.5, está sob a responsabilidade do gerente do PMCI e o setor de montagem e teste. Com isso o gerente do projeto e o setor de montagem e teste, devem definir e organizar a bancada de testes, preparar a instrumentação do motor, organizar como e quais dados/sinais serão armazenados e completar a instrumentação.

Na sequência o setor de montagem e teste deve preparar o material que será utilizado nos testes do motor, como os consumíveis (combustíveis, lubrificantes e equipamentos para limpeza), equipamentos de proteção, adequação e isolamento do local de teste. A descrição destas ações está na tarefa com identificador 5.6 em conjunto com as suas quatro subtarefas. Deve se certificar que, por questões de segurança, apenas o pessoal capacitado deve operar ou acompanhar os testes. Por isso, o mesmo setor deve realizar a revisão da montagem e instrumentação do motor, para posterior a isso definir se o motor está adequado para o funcionamento. Esta é a tarefa 5.7 e a subtarefa associada.

Feito as adequações necessárias, inicia-se os testes do motor em operação, realizando a comparação dos dados obtidos com os dados das simulações iniciais do projeto, verifica-se a necessidade de possíveis ajustes e se o motor necessita ser desmontado. Após a identificação e otimização dos problemas encontrados nos testes, analisa se o desempenho do motor esta conforme o esperado e então é feito o armazenamento dos dados obtidos nos testes. Para isto, a tarefa é a com identificador 5.8 descrita como iniciar o teste do motor em operação. Esta tarefa possui seis subtarefas, sendo que na subtarefa 5.8.3 se define se o motor precisa ser desmontado. Caso haja a necessidade da desmontagem se retorna à tarefa 5.4. Já na subtarefa 5.8.5 se verifica se o desempenho do motor está conforme o esperado, se o desempenho não está conforme o planejado, voltar à tarefa 5.8.

A conclusão dos testes do motor é realizada pelo setor de montagem e teste em conjunto com o gerente de projeto, em que deve ser gerado um relatório descrevendo os resultados e possíveis problemas ocorridos durante os testes. Esta ação está na tarefa com identificador 5.9 e sua subtarefa.

Chegando ao final da fase a equipe de projeto realiza a avaliação da fase de montagem e teste do MCI, julgando se a montagem e os testes realizados corresponderam ao planejado, e

com isso definindo entre aprovar, cancelar ou reformular a fase. Estas ações são representadas pela tarefa com identificador 5.10 que estão descritas na Figura 53.

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
	5.10	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	5.10.1	Definir se a montagem e teste corresponderam ao planejado		
	5.10.2	Aprovar a fase		
	5.10.3	Cancelar a fase		
	5.10.4	Reformular a fase		
	5.11	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e Controle	
	5.11.1	Registrar lições no aspecto técnico		
	5.11.2	Registrar lições no aspecto da gestão do projeto		

Figura 53 - Tarefas e subtarefas finais da quinta fase

Na sequência o assessor de planejamento e controle deve elaborar o relatório de resultados da fase registrando as lições tanto no aspecto técnico quando no aspecto da gestão do projeto. Nota-se que o assessor de planejamento e controle é o responsável por elaborar o relatório, mas as discussões e contribuições para a construção do relatório é obtida com a contribuição de toda a equipe de projeto.

4.6 Fase de Encerramento do Projeto do MCI

Última fase do conjunto das seis fases do projeto do motor, a fase de encerramento do projeto do MCI tem como entrada o motor de combustão interna montado e testado e como saída apresenta o relatório de encerramento do projeto do motor que é o documento que finaliza

o projeto com a concordância de toda a equipe envolvida. Como é a sexta fase o identificador das tarefas e subtarefas aparece no formato 6.x.x, na qual o número seis representa a sexta fase e os demais dois dígitos as tarefas e subtarefas, respectivamente. O fluxograma com o arranjo das tarefas e suas relações está representado na Figura 54.

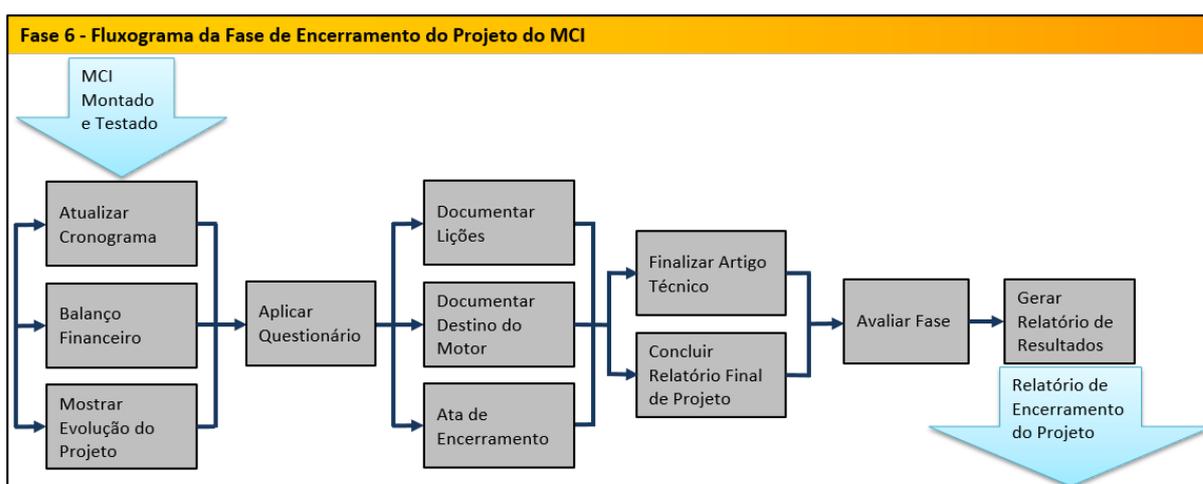


Figura 54 - Fluxograma da Fase de Encerramento do Projeto do MCI

Indicada na parte superior esquerda do fluxograma, a entrada da fase é o MCI montado e testado. Dando início as tarefas simultâneas de atualizar o cronograma do projeto, realizar o balanço financeiro e mostrar a evolução do projeto do motor. Seguida da tarefa de aplicar o questionário na equipe de projeto que serve para avaliar o desenvolvimento do projeto.

Posterior segue concomitantemente as tarefas de documentar as lições aprendidas, documentar o destino do motor fabricado e a tarefa de elaborar e assinar a ata de encerramento.

Na sequência as tarefas de finalizar o artigo técnico e a tarefa de concluir o relatório final de projeto são realizadas em consonância. Ao final realiza-se a tarefa de avaliar a fase, que é seguida da tarefa de gerar o relatório de resultados da fase. Já a saída, apresentada no lado direito inferior do fluxograma, aparece o relatório de encerramento do projeto.

A fase de encerramento do projeto do motor de combustão interna, assim como as demais fases apresentadas, possui a configuração padrão: entrada, identificador (Id), descrição

da tarefa a ser realizada, setor responsável pela realização da tarefa e por fim a saída da fase. A Figura 55 ilustra a estrutura da sexta fase de projeto. Já a fase em sua completude está apresentada no apêndice F.

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
MCI Montado e Testado	6.1	Apresentar o cronograma atualizado	Gerente do PMCI	Relatório de Encerramento do Projeto do MCI
	6.2	Realizar o balanço financeiro	Administrativo Financeiro	
	6.3	Demonstrar a evolução do projeto	Comunicação e Marketing	
	6.4	Elaborar e aplicar questionário na equipe de projeto	Qualidade e Sustentabilidade	
	6.5	Documentar sugestões e lições aprendidas	Gerente do PMCI	
	6.6	Elaborar documento descrevendo o destino do produto final	Assessor de Planejamento e	
	6.7	Elaborar ata de encerramento do projeto	Gerente do PMCI	
	6.8	Providenciar o adequado destino aos resíduos gerados	Qualidade e Sustentabilidade	
	6.9	Finalizar o artigo com resultados do projeto	Equipe de Projeto	
	6.10	Concluir o relatório final de projeto	Equipe de Projeto	
	6.11	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	6.12	Gerar relatório de Encerramento do Projeto	Assessor de Planejamento e	

Figura 55 - Tarefas da sexta fase do PMCI

No início da fase o gerente do projeto deve apresentar o cronograma atualizado e fazer uma comparação do cronograma real com o planejado. Corresponde a tarefa 6.1 e neste momento o gerente do projeto deverá utilizar como complemento o gráfico de análise do projeto do MCI, que foi descrito e apresentado na fase 3 por meio da Figura 46.

O setor administrativo financeiro deve apresentar o balanço do projeto, indicando todas as entradas e saídas de recursos, apresentação de notas fiscais e a ação sobre os resultados do balanço. A tarefa 6.2 e suas três subtarefas descrevem estas ações. No caso de ter recursos monetários em caixa destacar o destino destes recursos.

A elaboração de recursos áudio visuais com a cronologia do projeto, apresentando os rascunhos iniciais até o produto final, deve ser elaborado pelo setor de comunicação e marketing

e apresentado para toda a equipe de projeto. Para isso se deve realizar a tarefa com identificador 6.3 descrita como demonstrar a evolução do projeto.

Prossegue-se com a tarefa de identificador 6.4, sob a responsabilidade do setor de qualidade e sustentabilidade e descrita como elaborar e aplicar questionários na equipe de projeto. O setor de qualidade e sustentabilidade deve elaborar e aplicar um questionário na equipe de projeto, com o qual pretende-se obter informações sobre as dificuldades encontradas e destacar os pontos positivos e negativos durante o período de projeto.

Posteriormente o gerente do projeto deve documentar e armazenar todas as lições aprendidas e sugestões da equipe de projeto do motor. Esta ação está descrita na tarefa com identificador 6.5.

Com identificador de número 6.6, a tarefa é elaborar o documento descrevendo o destino do produto final. Esta tarefa está sob a tutela do assessor de planejamento e controle e possui duas subtarefa associadas nas quais se realiza a nomeação do responsável pelo armazenamento e manutenção do motor e também colher a assinatura de concordância da equipe de projeto.

A ata de encerramento do projeto do motor de combustão interna é elaborada pelo gerente do PMCI, com o intuito de formalizar o encerramento do projeto ao mesmo passo que obtêm-se a ciência concordância de toda a equipe envolvida. Esta ação é descrita na tarefa com identificador 6.7 como elaborar a ata de encerramento do projeto.

Devido à preocupação e o dever de minimizar a agressão ao meio ambiente, o setor de qualidade e sustentabilidade deve providenciar o adequado destino aos resíduos gerados no processo de projeto do motor. Os resíduos devem ser separados, etiquetados e verificados os volumes de resíduos por itens separados. A tarefa 6.8 e as duas subtarefas ressaltam estas ações. Desta forma pode-se realizar um estudo dos resíduos gerados por configuração de projeto.

Além do projeto físico do motor de combustão interna, a publicação dos resultados obtidos com o projeto é importante para a evolução, crescimento intelectual da equipe e compartilhamento das experiências com a comunidade científica em geral. Com isso, a equipe de projeto deve concluir a tarefa com identificador 6.9 que é finalizar o artigo com resultados do projeto. Deve-se elaborar e submeter um artigo técnico demonstrando a evolução e os resultados alcançados com o projeto.

Da mesma forma, deve concluir o relatório final de projeto, que é composto pelos relatórios elaborados pelos setores e aprovado por toda a equipe. É a tarefa com identificador

6.10, descrita como concluir o relatório final de projeto e sob a responsabilidade da equipe de projeto. Esta tarefa possui três subtarefas nas quais se elabora o relatório por setor, unifica estes relatórios setoriais e aprova o relatório final de projeto.

Finalizando a sexta fase e também o projeto do motor de combustão interna, encaminha-se para as últimas tarefas e subtarefas. A Figura 56 indica as duas últimas tarefas e suas subtarefas.

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
	6.11	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	6.11.1	Verificar se as atividades de encerramento foram concluídas		
	6.11.2	Aprovar a fase		
	6.11.3	Cancelar a fase		
	6.11.4	Reformular a fase		
	6.12	Gerar relatório de Encerramento do Projeto	Assessor de Planejamento e Controle; Equipe de Projeto	
	6.12.1	Registrar lições no aspecto técnico		
	6.12.2	Registrar lições no aspecto da gestão do projeto		
	6.12.3	Aprovar e assinar o encerramento do projeto		

Figura 56 - Tarefas e subtarefas finais da sexta fase

A equipe de projeto deve realizar a avaliação da sexta fase verificando se todas as atividades de encerramento foram realizadas e concluídas com êxito e com isso decidir entre aprovar, cancelar e reformular a fase. O assessor de planejamento e controle deve elaborar o relatório de encerramento do projeto, registrando as lições no aspecto técnico e no âmbito do gerenciamento do projeto, feito isso a equipe de projeto aprova e assina o encerramento do projeto.

5 UTILIZAÇÃO DA PLANILHA DO PMCI

A metodologia de Projeto de Motor de Combustão Interna – PMCI, foi implementada em uma planilha eletrônica interativa na qual o usuário deve orquestrar o curso das atividades por meio de comandos e entrada de informações. Ao executar o arquivo, na tela inicial é apresentada a estrutura da metodologia com as seis fases respectivamente identificadas. Além da representação visual das fases são exibidos os acessos aos fluxogramas de cada fase.

Logo abaixo do fluxograma existem três botões referentes a questões de projeto: Estrutura das Fases do Modelo, Estrutura Funcional do MCI e Informações e Manual do PMCI. Além de apresentar mais três botões referentes a questões de gerenciamento: Montar Cronograma, Organograma (Estrutura Organizacional) e Análise do Projeto do MCI. Os seis botões ao serem acionados, transportam para determinado local da planilha.

O desenvolvimento da metodologia ocorre da esquerda para a direita, partindo da cor azulada até a cor alaranjada. A escolha das cores sugere as similares nuances perceptíveis ao olho humano quando ocorre a combustão da gasolina em ambiente aberto.

A Figura 57 ilustra a tela inicial exibida ao executar o arquivo do PMCI e posicionar o cursor do mouse na primeira fase. Quando se posiciona o cursor do mouse sobre os itens é exibido um aviso que tem a função de explicar o movimento que ocorrerá ao clicar sobre este item. No caso na fase 1 o aviso é: Fase de Planejamento e Informações sobre o Projeto do MCI.

Logo abaixo das seis fases se pode acessar os fluxogramas das respectivas fases com um clique sobre o ícone do fluxograma desejado.

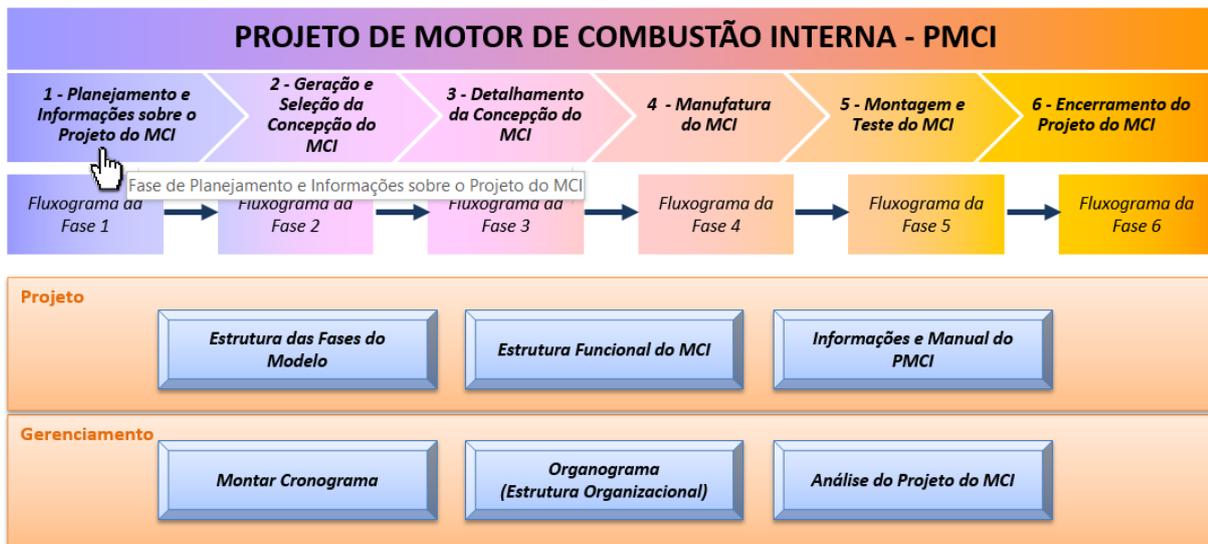


Figura 57 - Tela inicial da planilha do PMCI

Tomando como exemplo a primeira fase do projeto do motor de combustão interna, ao clicar sobre a fase de planejamento e informações sobre o projeto do MCI, aparecerá a tela conforme a Figura 58.

Em destaque aparece a fase na qual se está posicionado e as demais aparecem esmaecidas, atenção ao botão mostrar subtarefa (lado esquerdo) que ao ser acionado revelará todas as subtarefas da fase. O botão início (esquerda superior) retornará para a tela inicial conforme a ilustrada na Figura 57 e o botão visualizar cronograma movimentará para o cronograma do projeto conforme a Figura 64.

Todas as seis fases apresentam configuração visual similar e flexibilidade na movimentação entre fases, indicando em cada fase a entrada desta fase, o identificador da fase/tarefa/subtarefa, a descrição das tarefas, responsável pela realização da tarefa e a saída da fase. A movimentação ocorre também de fase para fase com um clique sobre a próxima fase desejada.

Início		Visualizar o Cronograma					
PROJETO DE MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA - PMCI							
Mostrar Subtarefa		1 - Planejamento e Informações sobre o Projeto do MCI	2 - Geração e Seleção da Concepção do MCI	3 - Detalhamento da Concepção do MCI	4 - Manufatura do MCI	5 - Montagem e Teste do MCI	6 - Encerramento do Projeto do MCI
Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída			
Intenção/Plano do Produto	1.1	Definir se há necessidade ou desejo de projetar um motor de combustão interna	Equipe de projeto	Plano do Projeto			
	1.2	Definir as funções da equipe de projeto, conforme o organograma	Equipe de projeto				
	1.3	Elaborar o termo de abertura do projeto ou carta de projeto (<i>Project Charter</i>)	Gerente do PMCI				
	1.4	Definir o escopo do motor de combustão interna (Escopo do Produto)	Equipe de projeto				
	1.5	Definir o escopo do projeto do motor (Escopo do Projeto)	Equipe de projeto				
	1.6	Elaborar o plano de comunicação do projeto do motor de combustão interna	Gerente do PMCI				
	1.7	Elaborar o cronograma do projeto do motor de combustão interna	Gerente do PMCI; Projeto				
	1.8	Implementar o orçamento do projeto do motor de combustão interna	Administrativo Financeiro				
	1.9	Definir clientes/usuário do motor de combustão interna	Equipe de projeto				
	1.10	Analisar tendências tecnológicas possíveis e aplicáveis	Projeto				
	1.11	Avaliar a utilização de fonte alternativa de energia	Qualidade e Sustentabilidade				
	1.12	Avaliar se o motor de combustão interna pode ser acionado remotamente (telemetria)	Projeto				
	1.13	Verificar o atendimento de normas vigentes sobre poluição ambiental	Qualidade e Sustentabilidade				
	1.14	Definir o volume de produção	Manufatura				

Figura 58 - Primeira fase de projeto visualizada na planilha do PMCI

A qualquer momento o utilizador da planilha pode visualizar as fases, tarefas, subtarefas, cronograma, análise do projeto, estrutura das fases, organograma, estrutura funcional do motor ou informações sobre a utilização da planilha, somente clicando sobre os elementos visuais. Desta forma a planilha permite ao usuário movimentar-se entre os itens de forma rápida e interativa, recebendo a entrada de informações na forma de clique com o mouse.

Relacionado as questões de projeto, os botões apresentados na tela inicial exibida na Figura 57 contidos no rótulo “Projeto”, ao clicar sobre o primeiro botão posicionado na esquerda da tela com o nome de “Estrutura das Fases do Modelo” é apresentada a tela conforme a Figura 23. O próximo botão na horizontal, “Estrutura Funcional do MCI” é apresentado uma tela conforme a Figura 38. A equipe de projeto define as principais funções do motor de combustão interna, para isso sugere-se uma estrutura funcional do motor. Ressalta-se que esta é uma sugestão de estrutura funcional e que ao desenvolver projetos diferenciados a equipe de projeto pode utilizar parcialmente ou complementar a estrutura funcional do motor de acordo com as suas necessidades, como também incrementar funções.

Partindo das funções do motor, no intuito de auxiliar e aumentar a gama de soluções para cada sistema, apresenta-se na Figura 59 uma tabela onde se coloca a função ou sistema do motor na célula da esquerda e para este sistema lista-se pontos que são relevantes, facultativos e dispensáveis. Desta forma cria-se as possibilidades e limitações para cada sistema.

	Relevante	Facultativo	Dispensável
Sistema ou Função do MCI			

Figura 59 - Gerador de Ideias para o sistema ou função do motor

Uma observação sobre a fase 2 de geração e seleção da concepção do MCI é que após gerada as soluções para cada função do motor, a equipe de projeto deve encontrar, por meio da matriz morfológica, as combinações adequadas dos princípios de soluções encontrados. A Figura 60 mostra a dinâmica da matriz morfológica, em que foi gerado duas combinações de princípios C1 e C2 ao agrupar os princípios de soluções para cada função do motor de combustão interna. No caso, a combinação de princípios C1 foi gerada pela união da solução 11, mais a solução 22, mais a solução 32 até a solução i1 (indicado pela linha que chega até a combinação de princípio C1).

Função		Princípio de Solução				
		1	2	3	...	j
1	Função 1	Solução 11	Solução 12	Solução 13	...	Solução 1j
2	Função 2	Solução 21	Solução 22	Solução 23	...	Solução 2j
3	Função 3	Solução 31	Solução 32	Solução 33	...	Solução 3j
:	
i	Função i	Solução i1	Solução i2	Solução i3	...	Solução ij
Combinação de Princípios		C1	C2			

Figura 60 - Matriz morfológica com a combinação dos princípios de solução

A equipe de projeto deve verificar se as soluções atendem os requisitos e restrições de projeto e do produto, ao mesmo passo que analisa questões de estética e ergonomia. A análise de sustentabilidade do projeto e do produto deve ser realizada pelo setor de qualidade e sustentabilidade.

O setor de projeto deve definir as dimensões principais dos componentes e sistemas, do mesmo modo que deve ser feita a modelagem tridimensional em software CAD. O setor de manufatura e o setor de montagem e teste devem definir e analisar os requisitos de montagem e fabricação. A matriz de decisão apresentada na Figura 61 é utilizada para confrontar e valorar as concepções geradas, e como resultado é selecionada a concepção que apresentar maior valor numérico no campo somatório.

Descrição	Valor
Não atende	0
Atende fracamente	1
Atende medianamente	2
Atende fortemente	3

	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3	...	Concepção n
Requisitos de Produto					
Requisitos de Projeto					
Restrições de projeto					
Manufatura					
Tempo					
Qualidade					
Sustentabilidade					
Emissões de poluentes					
Ergonomia e Estética					
Custo					
Somatório					

Figura 61 - Matriz de decisão entre as concepções geradas

A análise e seleção da concepção adequada, dentre as geradas, é feita pela equipe de projeto com o auxílio de uma matriz de decisão. Cada concepção deverá ser analisada e atribuído um valor entre: Não atende (0), Atende fracamente (1), Atende medianamente (2) e Atende fortemente (3). Este valor é atribuído ao analisar a concepção sob o ponto de atendimento dos seguintes itens: requisitos do produto, requisitos do projeto, restrições do projeto, manufatura, tempo, qualidade, sustentabilidade, emissões de poluentes, ergonomia e estética e custo. Aos valores atribuídos para cada item da concepção analisada, faz-se o somatório, sendo que a de maior valor numérico poderá ser a escolhida.

Já na fase 3 de detalhamento da concepção do MCI, na etapa de detalhamento dos componentes e sistemas sugere-se a criação de códigos para auxiliar na organização e identificação dos arquivos criados. A Figura 62 apresenta uma sugestão de formato da nomeação dos documentos, em que para cada tipo de documento se tem uma sigla e um número de ordem cronológica. Todos arquivos iniciariam com a letra “M” de motor, mais a ordem cronológica, seguido da sigla da descrição do documento com a ordem cronológica. Desta maneira, a sigla de exemplo M01_CRO02, significa o cronograma 02 do motor 01.

As tarefas de planejamento do processo de fabricação e montagem dos componentes e sistemas está alocada aos setores de manufatura em conjunto com o setor de montagem e teste. Deve-se definir o local e o processo de fabricação para cada componente, como também realizar a alocação de máquinas e operadores. Já a definição entre comprar ou manufaturar cabe aos setores de projeto, manufatura, administrativo financeiro e o setor de qualidade e sustentabilidade. No qual deve ser realizado o levantamento sobre o custo, tempo e capacidade de fabricação de cada item do motor, após isso realizar o comparativo entre o custo de fabricar e o custo de comprar o componente. Vale ressaltar neste ponto, que no caso do custo de fabricação ser superior ao de compra, mas a equipe julgar que existe o interesse e necessidade de fabricação por questões de domínio de processo de fabricação ou projeto, pode-se optar por fabricar.



Sigla	Significado/Descrição
XX	Ordem cronológica dos documentos, aparece em todos os documentos
CRO	Cronograma
DEC	Desenho de componente
DEF	Desenho de fabricação
EE	Esquema elétrico
ESC_PD	Escopo do produto
ESC_PJ	Escopo do projeto
M	Motor de combustão interna
MA	Manual (montagem, operação, manutenção...)
MC	Memorial de cálculo
PM	Plano de manufatura
RG	Relatório geral
RM	Requisição de material
SIC	Simulação de componente
SPI	Solicitação de patrocínio e investimento
TA	Termo de Abertura
Ex:	Significado/Descrição
M01_TA01	Refere-se ao termo de abertura do motor 01
M01_DEC03	Refere-se ao desenho de componente 03 do motor 01

Figura 62 - Codificação dos componentes e sistemas

Ainda sobre questões relacionadas com o projeto, o botão à direita “Informações e Manual do PMCI” revela informações gerais sobre a utilização da planilha e possibilita a visualização do Manual de Utilização do PMCI. A Figura 63 indica a tela exibida.

Informações sobre a utilização do PMCI	
Movimentação	A movimentação se dá através de links, clicando sobre as fases do PMCI e nos botões.
Botões	Os botões são apresentados na cor azul, e ao posicionar o cursor sobre estes, será fornecida informações do direcionamento.
Cronograma	
	Apenas as células em laranja podem ser alteradas.
Ferriados	Primeiramente deve-se anotar os feriados, clicando no botão: Anotar Feriados
Tarefas	As tarefas devem ser lançadas no espaço, "Descrição da Tarefa".
Data Início	Deve-se informar a data de início da tarefa, clicando duas vezes na célula desejada.
Duração	Deve-se informar a duração da tarefa. Será contabilizado apenas os dias úteis de trabalho(segunda a sexta).
Dias Sequenciais	Refere-se aos dias da tarefa, inclusive sábados, domingos e feriados lançados.
Gerar PDF	Para gerar o PDF, coloque o Nome e N° do cronograma no espaço indicado.

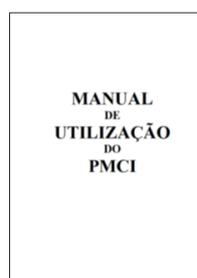


Figura 63 - Informações e Manual de Utilização do PMCI

Para o gerenciamento e controle do tempo utiliza-se o cronograma que pode ser acessado tanto pela tela inicial apresentada na Figura 57 no rótulo de gerenciamento clicando no botão “Montar Cronograma”, ou por meio de cada fase pelo botão “Visualizar o Cronograma” mostrado na Figura 58.

A Figura 64 representa a tela inicial do cronograma do projeto no qual o botão “Anotar Feriados” deve ser utilizado para inserir os feriados compreendidos durante o período de projeto. Com isso, ao fazer o cálculo de dias sequenciais de cada tarefa, é considerado os feriados contidos entre a data de início e a data final da tarefa. Em toda a planilha as células alteráveis são as apresentadas na cor laranja claro.

Ao clicar no botão “Início” retorna para a tela representada na Figura 57, enquanto o botão “Voltar para o Planejamento” retorna para a tela representada na Figura 58. Logo abaixo dos botões é informada a data do dia, a data de início e fim do projeto e a contabilidade dos dias úteis (segunda até sexta-feira descontado os feriados), dias corridos (dias úteis mais os sábados, domingos e feriados) e o total de dias não úteis (sábados, domingos e feriados). Estes valores são mostrados automaticamente após lançar as datas no cronograma.



Figura 64 - Tela inicial do cronograma

Sobre o cronograma ainda, pode-se destacar a forma de inserir a data nas células da planilha, tanto na etapa de anotar os feriados como na etapa de lançar a data de início da tarefa. Para realizar a empreitada de inserir a data de início de uma tarefa deve-se posicionar o ponteiro do mouse na coluna “Data Início (dd/mm/aaaa)” e dar um duplo clique na célula de interesse (1º Passo). Com isso abrir-se-á uma caixa intitulada “Selecione a Data” que apresenta três elementos: um botão superior intitulado “Abrir o Calendário”, uma caixa de texto e um botão na parte inferior intitulado “Anotar Data na Célula”. Inicialmente se deve clicar no botão “Abrir o Calendário” (2º Passo) em que é mostrada outra caixa com o título “Calendário”. A Figura 65 mostra os 5 passos e a sequência das caixas exibidas na ação de inserir a data de início em uma célula de interesse.

Fase	Id	Descrição da Tarefa	Data Início (dd/mm/aaaa)	Duração (Dias Úteis)	Data Final	Dias Sequenciais
Planejamento e Informações sobre o Projeto do MCI	1.2	Montar Equipe	13/03/2015	2	15/03/2015	4
			16/03/2015			
			17/03/2015			
			17/03/2015			
			18/03/2015			
			20/03/2015			
			20/03/2015			
			19/03/2015			
			20/03/2015			
			24/03/2015	1	25/03/2015	1
			23/03/2015	2	25/03/2015	2
			23/03/2015	2	25/03/2015	2
			25/03/2015	2	27/03/2015	2
			27/03/2015	1	30/03/2015	3
			27/03/2015	1	30/03/2015	3

5º Insira a duração

1º Duplo clique sobre a célula de interesse

2º Clique sobre o botão para abrir o calendário

3º Clique sobre a data de interesse

4º Clique sobre o botão para anotar a data na célula

Calendário

março 2015

dom seg ter qua qui sex sáb

01 02 03 04 05 06 07

08 09 10 11 12 13 14

15 16 17 18 19 20 21

22 23 24 25 26 27 28

29 30 31 01 02 03 04

05 06 07 08 09 10 11

Hoje: 30/03/2015

Figura 65 - Inserir data de início e duração da tarefa no cronograma

O calendário destaca na parte inferior a data do dia atual (Hoje), na parte central as datas com seus respectivos dias da semana e a data do dia destacada em vermelho, já na parte superior disponibiliza setas de movimentação para a escolha do mês e do ano. Para escolher a data é necessário clicar no calendário sobre o dia de interesse (3º Passo), feito isso a data aparecerá na caixa “Selecione a Data” e o próximo passo é clicar no botão “Anotar Data na Célula” para registrar a data na célula de interesse (4º Passo).

Com a data de início da tarefa registrada na célula é necessário lançar a duração da tarefa (5º Passo) que é contabilizado em dias úteis de trabalho, ou seja, dias realmente trabalhados. A data final e os dias sequenciais são calculados automaticamente, sendo que neste caso se considera os sábados, domingos e feriados anotados. Da mesma forma as barras horizontais no estilo gráfico de Gantt são geradas automaticamente.

Na Figura 64 quando clicar no botão “Anotar Feriado” é exibida a tela conforme a Figura 66, em que o processo de inserir a data do feriado é similar ao demonstrado na Figura 65.

Voltar

Anotar TODOS os feriados do Ciclo do Projeto			
N°	Data (dd/mm/aaaa)	Dia da Semana	Descrição do Feriado
1	01/01/2015	Quinta-feira	Confraternização Universal
2	17/02/2015	Terça-feira	Carnaval
3	03/04/2015	Sexta-feira	Paixão de Cristo
4	05/04/2015	Domingo	Páscoa
5	21/04/2015	Terça-feira	Tiradentes
6	01/05/2015	Sexta-feira	Dia do Trabalho
7	04/06/2015	Quinta-feira	Corpus Chisti
8	07/09/2015	Segunda-feira	Independência do Brasil
9	12/10/2015	Segunda-feira	Nossa Senhora Aparecida
10	02/11/2015	Segunda-feira	Finados
11	15/11/2015	Domingo	Proclamação da República
12	25/12/2015	Sexta-feira	Natal
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			

Selecione a Data

Calendário

dezembro 2015

dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb
29	30	01	02	03	04	05
06	07	08	09	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	01	02
03	04	05	06	07	08	09

Hoje: 28/04/2015

Figura 66 - Anotar Feriados do ciclo do projeto

Para visualizar o fluxograma da fase e verificar a sugestão de concomitância e relação das tarefas, na tela do cronograma se deve clicar sobre o nome da fase na coluna da esquerda. Com isso será mostrado o fluxo das tarefas para de cada fase.

Outra alternativa para acessar o fluxograma é clicar sobre a indicação deste na tela inicial da planilha mostrada na Figura 57. Estes fluxogramas para cada uma das seis fases,

auxilia na definição das datas de início de cada tarefa, em que a equipe de projeto pode definir as tarefas simultâneas.

Ao concluir a ação de lançar as informações pertinentes no cronograma, pode-se inserir o nome do projeto e o número do cronograma nas células indicadas (superior direito da Figura 64) e clicar no botão “Gerar PDF do Cronograma”. Esta ação ao ser concluída, fornecerá um aviso indicando que o arquivo portátil do cronograma foi gerado com êxito e está no mesmo diretório do arquivo do PMCI. A Figura 67 indica o aviso exibido no qual o botão “Fechar Aviso” encerra a janela de exibição.

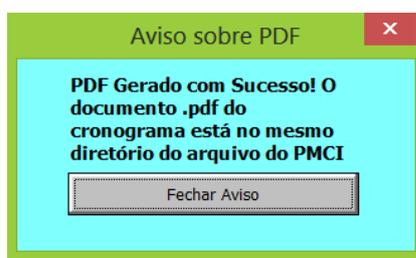


Figura 67 - Caixa de aviso após geração do arquivo portátil do cronograma

As demais fases possuem configuração similar a primeira fase apresentada. Desta forma dispensa apresentação e explicação de cada uma individualmente.

Prosseguindo no rótulo de gerenciamento apresentada na tela inicial (Figura 57), o próximo botão na horizontal que traz por título “Organograma (Estrutura Organizacional)”, é apresentado conforme a Figura 68.

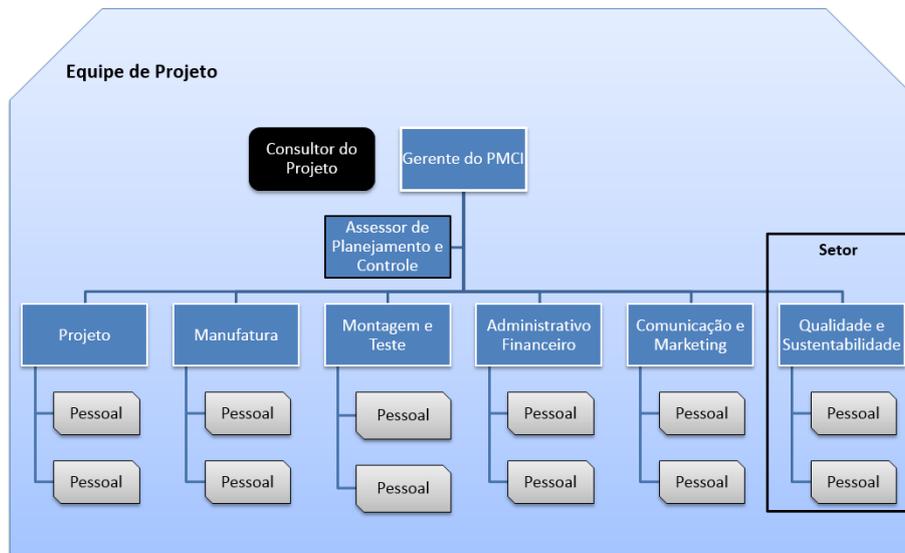


Figura 68 - Organograma da equipe de projeto

O organograma para a equipe de projeto está constituído por seis setores específicos, um assessor de planejamento e controle, o gerente do projeto e o consultor de projeto. Todos integram a equipe de projeto, desta forma quando refere-se a equipe de projeto todos participam das tomadas de decisões. O consultor do projeto é o responsável por amparar toda a equipe durante a evolução do projeto do produto.

Os seis setores específicos que compõem a equipe de projeto são nomeados conforme segue: projeto, manufatura, montagem e teste, administrativo financeiro, comunicação e marketing e por fim, qualidade e sustentabilidade. Cada setor é constituído por um conjunto de pessoal que são os responsáveis por realizar as tarefas destinadas para o presente setor.

O último botão no rótulo de gerenciamento está nomeado como “Análise do Projeto do MCI”, ao acionar este botão será possível visualizar o apresentado na Figura 69. A obtenção do número total de componentes manufaturados e também do número total de itens comprados disponibilizará informações úteis para montar o gráfico de análise do projeto do MCI.

As informações iniciais do planejamento, necessárias para elaborar a análise do projeto são o custo estimado do motor, o tempo para conclusão do projeto que é retirado automaticamente da elaboração do cronograma, a complexidade do projeto que é representada pelo número de componentes e a novidade do projeto para a equipe sendo representada pelo

número de componentes fabricados. Ao final do projeto os valores reais são lançados e se faz um comparativo entre o planejado e o real ocorrido. Estas informações são inseridas nas células laranjas da tabela para gerar o gráfico e analisar as quatro variáveis consideradas que são: custo, tempo, complexidade e novidade.

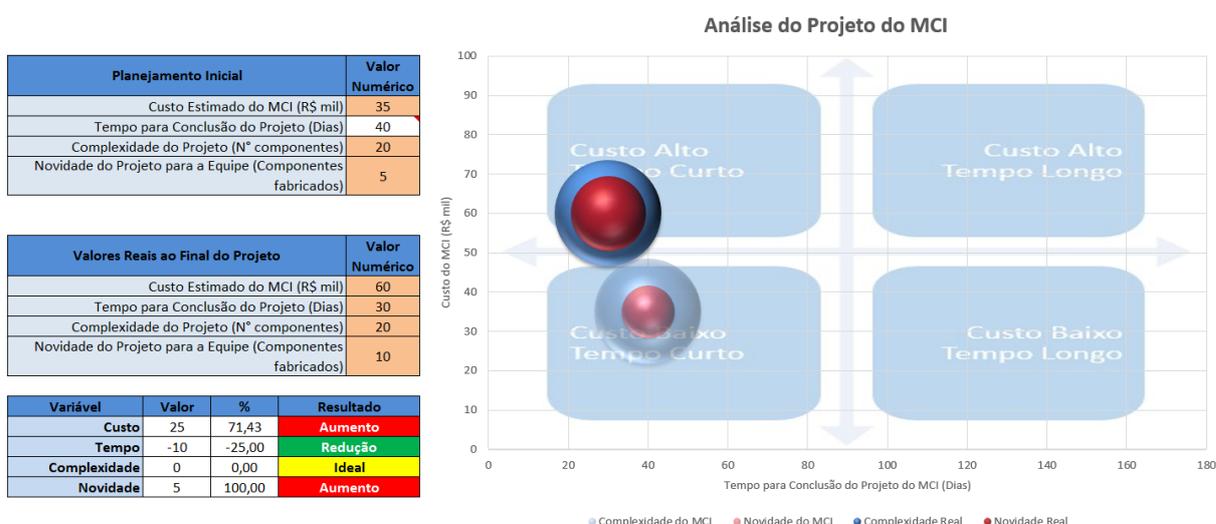


Figura 69 - Representação da Análise do Projeto do MCI

Como resultado da análise pode se ter um aumento, quando o valor final da variável for maior que o planejado é representado em vermelho. Uma redução quando o valor final da variável for menor que o planejado, sendo representado em verde. E por fim o ideal quando o valor final da variável for igual ao planejado e desta forma representado em amarelo. A Figura 69 representa um exemplo de análise do projeto em que aparece no interior do gráfico duas esferas, a esfera esmaecida representa o planejado e a em cores fortes representa o valor real. A parcela externa da esfera em azul representa a complexidade (número de componentes) e a parte interna em vermelho representa a novidade (componentes fabricados). Quando maior for a esfera interna, maior é o número de componentes manufaturados e no caso de todos os componentes serem fabricados, a parcela em vermelho se sobrepõe a parcela azul. Quanto maior a esfera interna, maior o controle da equipe sobre os componentes fabricados.

No campo de análise das variáveis na tabela da Figura 69 pode-se verificar o valor e a porcentagem com relação ao valor planejado que foi aumentado ou reduzido. Em caso de valor ideal não se tem aumento ou redução. A área interna da representação gráfica indica quatro possibilidades para análise com relação ao tempo e ao custo do projeto. No tempo, de zero até 90 dias é considerado tempo curto, já acima de 90 até 180 dias é considerado tempo longo. Na vertical o eixo custo, de zero até 50 mil reais são considerados baixo custo e acima de 50 mil reais é considerado alto custo. Estes valores são indicativos utilizados no controle do projeto.

Além do gráfico bolha, para auxiliar no controle do projeto é disponibilizado o gráfico para acompanhar as tarefas concluídas em comparação com o planejado no cronograma. A Figura 70 mostra o gráfico de controle das tarefas concluídas.

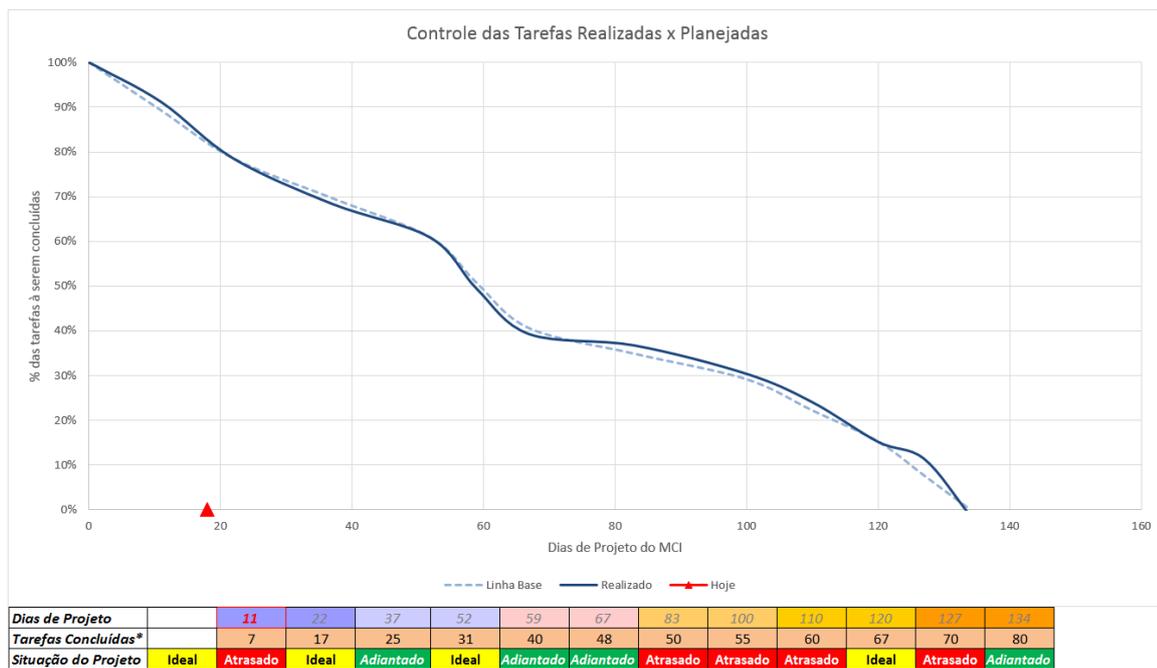


Figura 70 - Gráfico de controle das tarefas realizadas x planejadas

No eixo vertical é apresentado a porcentagem das tarefas à serem concluídas e no eixo horizontal os dias de projeto. No dia zero de projeto existe 100% das tarefas para serem

concluídas e com a evolução do projeto o percentual de trabalho deve ir diminuindo até chegar a 0% no último dia de projeto.

A linha tracejada representa a linha base de projeto (planejado) que é gerada automaticamente ao lançar as datas no cronograma do projeto. Já a linha contínua indica o andamento real do projeto que é lançado manualmente pelo gerente do projeto na linha “Tarefas Concluídas”.

No caso da Figura 70 no décimo primeiro dia de projeto foram concluídas sete tarefas e a situação é atrasado (vermelho). Nota-se que a linha contínua se coloca acima da tracejada em caso de atraso. Já no décimo segundo dia de projeto o número de tarefas concluídas desde o início do projeto é no total de dezessete e a situação é ideal (amarelo). Neste caso a linha contínua está sobre a tracejada.

Acompanhando o andamento do projeto, no trigésimo sétimo dia de projeto o acumulado de 25 tarefas foi concluído, indicando a situação de adiantado (verde) e a linha contínua se posta abaixo da tracejada. As tarefas concluídas devem ser lançadas de forma cumulativa desde a dia de início do projeto até o dia em questão.

Nota-se que no eixo horizontal é apresentado um triângulo (vermelho) indicando quantos dias de projeto se passaram desde o início do projeto até a data do dia em questão. Já na tabela na linha “Dias de Projeto” os dias passados ficam na cor vermelha e os dias que estão por vir na cor cinza claro.

Ao encerrar o arquivo do projeto de motor de combustão interna, as informações e alterações são salvas automaticamente e quando for executado novamente as informações do último acesso estarão disponíveis.

6 RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DO PMCI

Concluída a etapa de desenvolvimento da metodologia de projeto de motor de combustão interna – PMCI, esta foi enviada para avaliação. Esta ponderação teve como objetivo verificar e identificar a adequação do trabalho para o processo de desenvolvimento de um motor de combustão interna.

O questionário foi enviado para um total de trinta e seis (36) respondentes, sendo que estes possuíam um período de 21 dias corridos para realizar a análise da planilha do PMCI e responder o questionário. Obteve-se 22 respostas válidas totalizando 61% de aproveitamento.

Foram obtidas respostas de profissionais de dentro do país que trabalham em empresas multinacionais com sede no Brasil, pesquisadores de universidades públicas e privadas, e também de profissionais que estão em outros países pesquisando especificamente sobre motores.

Com base nas vinte e duas respostas, se organizou em quatro grupos com os perfis destes respondentes. O Quadro 3 apresenta a descrição dos perfis que estruturam os grupos A, B, C e D.

Grupo	Descrição	Proporção
A	Respondentes doutores e que trabalham a mais de 10 anos com projeto de produto ou motor de combustão interna	14%
B	Respondentes mestres e que trabalham a mais de 10 anos com projeto de produto ou motor de combustão interna	23%
C	Respondentes mestres e que trabalham a mais de 5 anos com projeto de produto ou motor de combustão interna	27%
D	Respondentes graduados e que trabalham a mais de 5 anos com projeto de produto ou motor de combustão interna	50%

Quadro 3 - Perfil do respondente

O grupo A é formado por doutores que trabalham a mais de 10 anos, tanto com projeto de produto quanto com motor de combustão interna, apresentando uma proporção de 14% do total respondido. Já os mestres que trabalham a mais de 10 anos com projeto de produto ou motor de combustão interna estão no grupo B e totalizam 23%.

Envolvidos com projeto de produto ou motor de combustão interna a mais de 5 anos, no grupo C se tem os respondentes com mestrado e totalizam 27%. Já os graduados com o mesmo período de envolvimento representam 50% do total das respostas.

A partir da análise das 22 respostas recebidas, referentes ao Grupo 1 representado na Figura 28, Grupo 2 representado na Figura 29 e Grupo 3 representado na Figura 30, realizou-se a distribuição destas respostas, em gráficos com percentuais para cada escolha, nos quais se apresenta a proporção de um todo.

No Grupo 1 destaca-se a questão de número 6, referente ao grau de escolaridade dos respondentes. Dos vinte e dois que responderam o questionário, 59% possuíam graduação, 23% eram mestres e 18% eram doutores principalmente na área de engenharia.

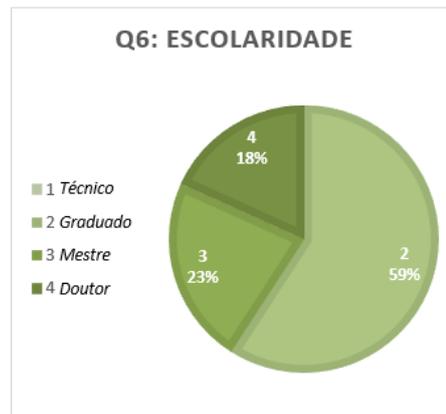


Figura 71 - Distribuição por escolaridade

Prosseguindo para o Grupo 2, destacou-se as duas questões. Questão 8 referente ao tempo de trabalho com projeto de produto e a questão 9 referente ao tempo de trabalho com motor de combustão interna.

Na Figura 72 questão 8 (Q8), do total de respondente 36% trabalham com projeto de produto de 0 a 2 anos, 32% trabalham de 3 a 5 anos, 14% trabalham de 6 a 10 anos, 9% trabalham de 11 a 15 anos e 9% trabalham mais de 15 anos com projeto de produto. Percebe-se que 32% dos respondentes trabalham a mais de 5 anos com projeto de produto, tendo experiência suficiente para avaliar o trabalho apresentado.

Continuando na Figura 72, agora referente a questão 9 (Q9), 36% dos respondentes trabalham com motor de combustão interna de 0 a 2 anos, 36% trabalham de 3 a 5 anos, 14% trabalham de 6 a 10 anos e 14% trabalham mais de 15 anos com motor.

Na questão 9 do total dos respondentes 28% trabalham a mais de 5 anos, especificamente com motor de combustão interna. Desta forma, se teve profissionais habilitados para analisar a proposta de metodologia contida neste trabalho.

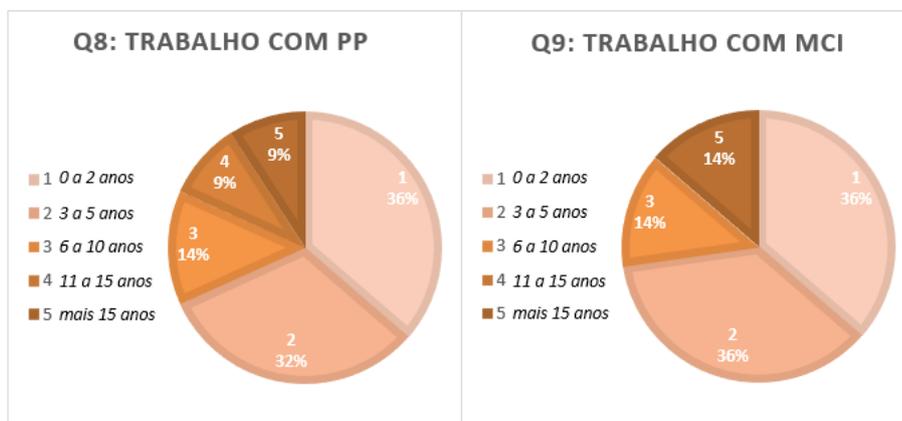


Figura 72 - Respostas do Grupo 2

Dando continuidade na análise das respostas referente ao Grupo 3, que são as questões apresentadas na Figura 30, será apresentado o resultado referente as três partes. Inicialmente a parte 1 com as questões de número 10 até a questão de número 20.

Na Figura 73 está representada a primeira parte do Grupo 3, com as questões de 10 até a questão 15 indicadas pela letra “Q” junto com o número da questão. Na questão 10 (Q10) que trata da subdivisão do projeto em fases, 50% dos respondentes afirmam que atende fortemente

e os outros 50% que atende totalmente. Já na questão 11 (Q11) que aborda sobre o número e o nome de cada fase, 9% acredita que atende parcialmente, 64% indica que atende fortemente e 27% afirma que atende totalmente. Evidencia-se que a subdivisão em fases, a quantidade de fases e a nomenclatura apresentada está adequada para o projeto conforme afirmam a maioria dos respondentes.

Prosseguindo para a questão 12 (Q12) que discorre sobre a clareza das tarefas e subtarefas, 5% respondeu que atende fracamente, 18% que atende parcialmente, 59% julgou que atente fortemente e os 18% afirmam que atende totalmente. Desta forma se percebe que as tarefas do PMCI estão apresentadas de forma clara e confirmado pela maioria dos respondentes.

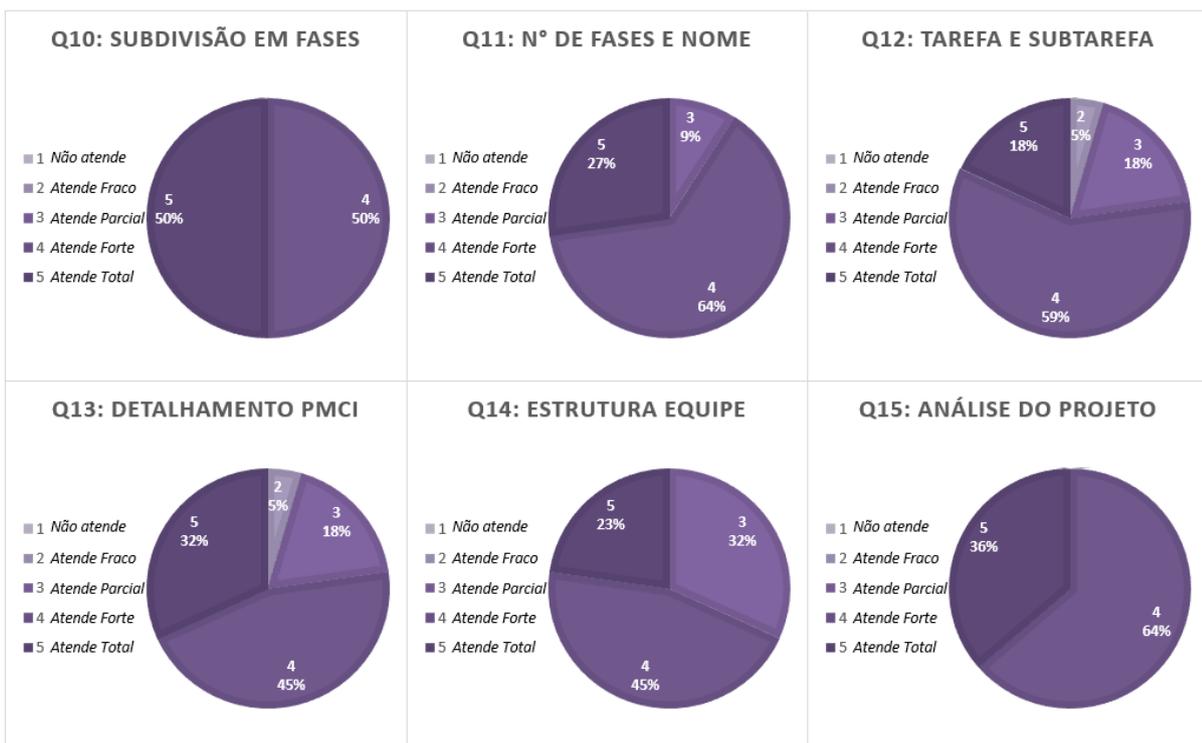


Figura 73 - Questões 10 até 15 da parte 1 do Grupo 3

Na questão 13 (Q13) que versa sobre o nível de detalhamento do PMCI para desenvolver um motor de combustão interna, 5% acredita que atende fracamente, 18% indica que atende parcialmente, 45% responderam que atende fortemente e os 32% afirmam que atende

totalmente. A maioria destaca que o nível de detalhamento do PMCI está apropriado para o desenvolvimento de um motor de combustão interna, estando esta proposta de metodologia apta a ser aplicada no desenvolvimento do produto em questão.

Posteriormente na questão 14 (Q14) que aborda sobre a estrutura organizacional ser adequada, 32% afirmaram que atende parcialmente, os que julgaram que atende fortemente foram 45% e por fim 23% julga que atente totalmente. Demonstra-se que a estrutura organizacional apresentada para a formação da equipe, atende as necessidades para o desenvolvimento de um motor de combustão interna e reforçado pelo predomínio das respostas positivas.

A próxima é a questão 15 (Q15) que trata do auxílio realizado por meio dos gráficos para análise do projeto, em que 64% indica que atende fortemente e 36% destacam que atende totalmente. Com isso, pode-se afirmar que os gráficos para análise do projeto cumprem o seu propósito de apoiar os utilizadores durante o desenvolvimento do projeto e servir como subsídios para projetos futuros.

Na Figura 74 está representado os resultados das questões 16 até a questão 20. Analisando as respostas da questão 16 (Q16) que discorre sobre o cronograma disponibilizado para o controle do tempo de projeto, 9% julgou que atende parcialmente, 50% indicou que atende fortemente e 41% afirmam que atente totalmente. Desta forma, o uso do cronograma como elemento auxiliador do controle do tempo de projeto é reforçado pelas respostas favoráveis.

Na próxima questão analisada, a questão 17 (Q17) que aborda sobre o auxílio proporcionado pelas tarefas dispostas no fluxograma, 9% responderam que atende parcialmente, 59% indicam que atende fortemente e 32% destacam que atende totalmente. A maioria das respostas convergem afirmando que o fluxograma cumpre o seu papel de assessorar e agilizar o processo de desenvolvimento do motor de combustão interna. Contribuindo também no momento da elaboração do cronograma do projeto.

Prosseguindo para a questão 18 (Q18) que se refere as entradas e saídas das fases para o projeto do motor, 4% julgaram que atende fracamente, 14% indicam que atende parcialmente, 64% destacam que atende fortemente e 18% afirmam que atende totalmente. Reforçado pela maioria, que as entradas e saídas das fases estão apropriadas para o projeto do produto.

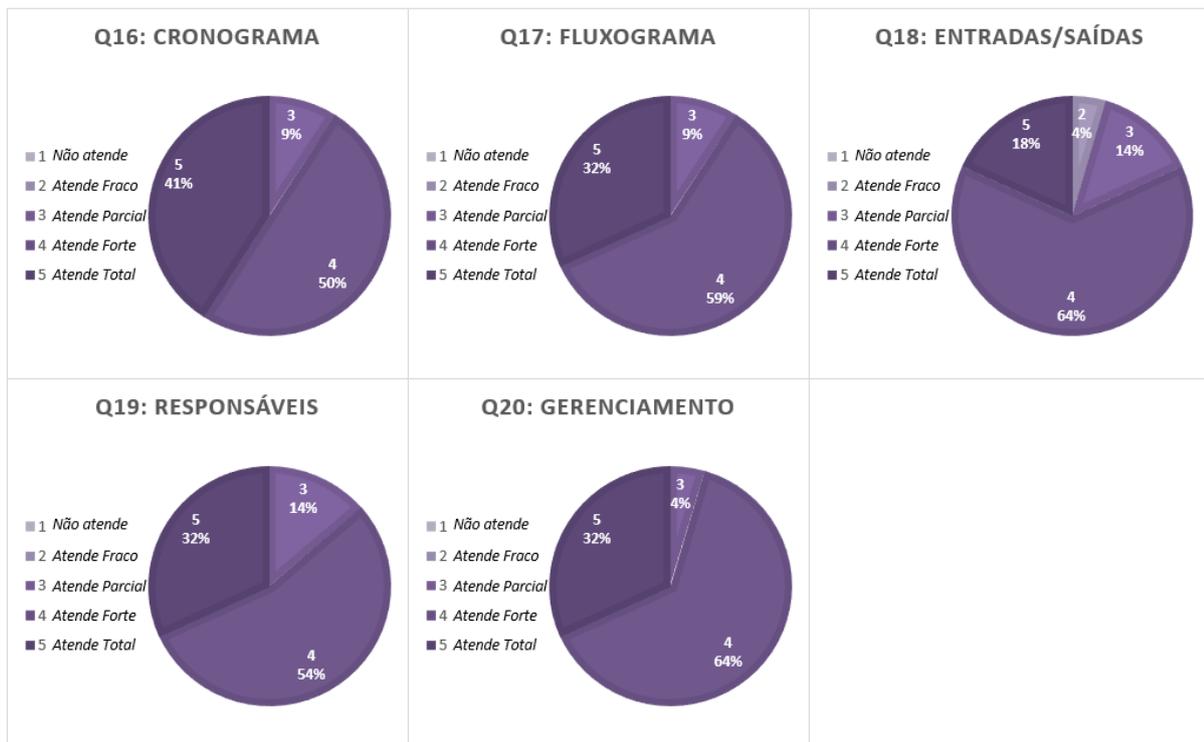


Figura 74 - Questões 16 até 20 da primeira parte do Grupo 3

Finalizando a análise das respostas referentes as questões da primeira parte do Grupo 3, se tem a questão 19 (Q19) que discorre sobre a definição dos responsáveis pelas tarefas, em que 14% responderam que atende parcialmente, 54% destacaram que atende fortemente e 32% afirmam que atende totalmente. Já na questão 20 (Q20) que trata das ferramentas disponibilizadas no PMCI para o gerenciamento do projeto, 4% escolheu que atende parcialmente, 64% ressaltou que atende fortemente e 32% respondeu que atende totalmente.

Salienta-se que os responsáveis pela realização das tarefas e subtarefas estão definidos de forma adequada. E que as ferramentas, disponibilizadas no PMCI, para o gerenciamento do projeto estão alinhadas com a metodologia. Destacando que além do processo de projeto é essencial o gerenciamento deste processo por meio de ferramentas de auxílio como o cronograma e os gráficos de análise do projeto.

Passando para a segunda parte do Grupo 3, na qual é analisada as respostas das questões 21 até a questão 27, foi destacado as questões 21 e 24 que são referentes ao projeto de motor de combustão interna e está ilustrado na Figura 75.

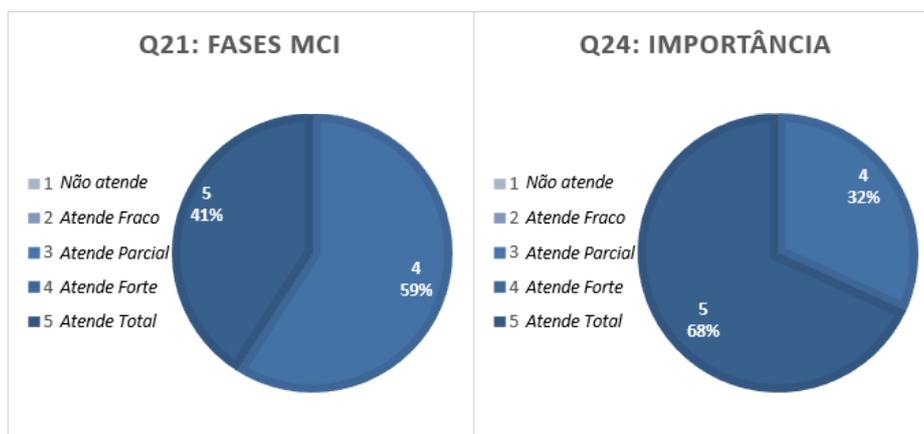


Figura 75 - Questões 21 e 24 da segunda parte do Grupo 3

Na questão 21 (Q21) que trata do auxílio das fases para o desenvolvimento de um motor de combustão interna, 59% do total dos respondentes afirmaram que atende fortemente e 41% destacaram que atende totalmente. Reforçado pelas respostas positivas que as fases apresentadas realmente auxiliam no desenvolvimento de um motor de combustão interna.

Questionados sobre a importância de utilizar a metodologia do PMCI para auxiliar no desenvolvimento de um motor de combustão interna, na questão 24 (Q24), 32% do total dos respondentes destacam que atende fortemente e 68% ressaltam que atende totalmente.

Referente a questão 24, o grupo A que é formado por doutores que trabalham a mais de 10 anos com projeto de produto (PP) ou motor de combustão interna (MCI), 100% afirmam que a metodologia do PMCI atende totalmente. No grupo B, formado por mestres que trabalham a mais de 10 anos com PP ou MCI, 80% destacam que atende totalmente. Já no grupo C que é composto por mestres que trabalham a mais de 5 anos com PP ou MCI, 83% ressaltam que atende totalmente. Por fim, o grupo D que inclui os graduados que trabalham a mais de 5 anos com PP ou MCI, 73% concluíram que a metodologia do PMCI atende totalmente como auxiliador no desenvolvimento de um motor de combustão interna.

Com isso, salienta que a metodologia para o projeto de motor de combustão interna é considerada uma auxiliadora no processo de desenvolvimento deste produto. Sendo que os

grupos formados por profissionais que possuem conhecimento e experiência sobre o tema, destacaram que atende totalmente a este propósito.

Encaminhando-se para o final da análise dos resultados, a terceira parte do Grupo 3 tratou da utilização da planilha do PMCI. Nas questões desta terceira parte que vão da 28 até a 35, foi salientado as questões 28 e 31 que estão representadas na Figura 76.

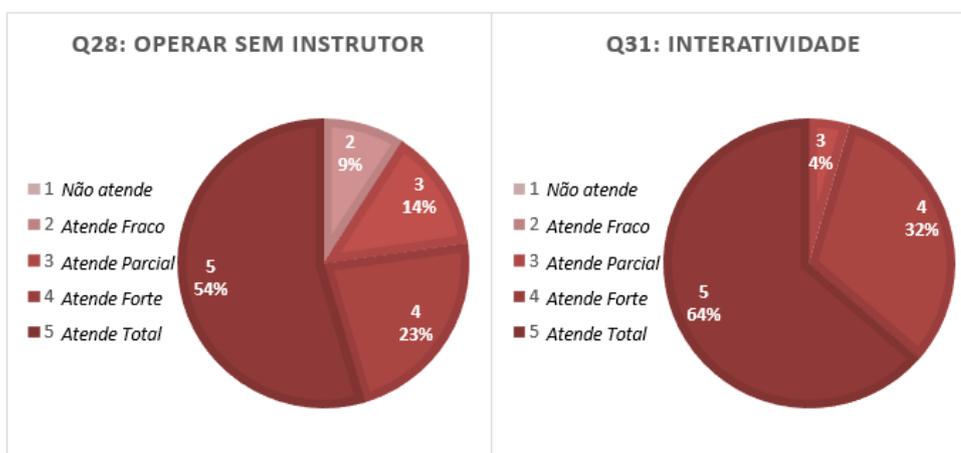


Figura 76 - Questões 28 e 31 da terceira parte do Grupo 3

Na questão 28 (Q28), foi questionado se era possível compreender e operar sem um instrutor, em que 9% indicaram que atende fracamente, 14% responderam que atende parcialmente, 23% destacaram que atende fortemente e 54% afirmaram que a planilha do PMCI atende totalmente.

Prosseguindo com a questão 28, no grupo A são 67% os que ressaltam que atende totalmente, no grupo B 60% destacam que atende totalmente, 67% do grupo C são os que afirmam que atende totalmente e por fim o grupo D no qual 73% assinalam que atende totalmente o quesito de compreender e operar sem um instrutor.

Com base nas respostas da questão 28, é possível disponibilizar a planilha do PMCI e esta servir como instrumento de auxílio para o projeto de motor de combustão interna. Sendo que é possível utilizá-la e compreendê-la sem o acompanhamento de seus desenvolvedores.

Sobre a interatividade da planilha, na questão 31 (Q31) que trata da facilidade de movimentação na planilha, 4% respondeu que atende parcialmente, 32% indicou que atende fortemente e 64% destacou que atende totalmente. A maioria das respostas convergem no sentido de afirmar que existe uma interatividade e facilidade de movimentação e utilização da planilha do PMCI.

Na questão de número 35 foi solicitado para que o respondente deixasse alguma sugestão de melhoria para ser aplicada na planilha do PMCI. O respondente pôde inserir críticas, sugestões ou elogios sobre o trabalho desenvolvido. Esta era a única questão não obrigatória.

Obteve-se um retorno de 68% na questão 35, onde o total de 15 respondentes enviaram as suas sugestões e contribuições de melhorias. Dentre as sugestões destaca-se as dez que seguem identificadas pelas letras de A até J e comentadas na sequência.

Sugestões do respondente A:

A planilha do PMCI ficou bastante intuitiva, não é necessário acessar o manual para realizar as operações básicas, porém acho que poderia existir um botão que levasse ao menu informações e manual dentro das subtarefas, sem ter que voltar par o início.

A intenção de deixar a planilha menos sobrecarregada com informações, fez com que não se colocasse botões para o menu informações a partir de todas as fases. E conforme salientado que a planilha ficou intuitiva, a frequência reduzida de acesso ao menu informações descaracteriza o aumento do número deste botão.

Sugestões do respondente B:

Acredito que o projeto de máquinas em engenharia é de fato uma tarefa de grande complexidade. Em se tratando de motores de combustão interna, o nível de capacitação necessário e planejamento é muito elevado. A planilha conseguiu sintetizar de uma forma muito eficiente todas as fases e pontos necessários para o projeto e desenvolvimento de um motor de combustão interna. Dessa forma, gostaria de parabenizar os responsáveis pela elaboração da mesma.

Realmente a complexidade do produto necessita uma organização de conhecimentos para se chegar ao produto final. Com o planejamento e sistematização do processo espera-se alcançar um ganho no processo de ensino e aprendizagem em projeto de motores de combustão interna.

Sugestões do respondente C:

O trabalho é de ótima qualidade. Acredito que uma revisão possa ser feita a fim de eliminar algumas etapas repetidas e alterar a ordem de outras durante o processo. Acho também que o nível de detalhamento poderia ser um pouco menor. De uma forma geral o trabalho está muito bom e atende bem o esperado para o projeto de um motor. Parabéns!

A estruturação e sequenciamento das fases se deu com base em autores de projeto de produto que já apresentam suas metodologias alicerçadas. Ao se desenvolver um projeto de motor auxiliado por esta metodologia do PMCI, poderá ser feita as adequações necessárias buscando uma melhoria contínua.

Sugestões do respondente D:

Fases de desenvolvimento e validação de calibração de ECU são bem longas e correspondem a um bom período do projeto, assim como definição de hardware/fornecedores. Também deve-se considerar provas de confiabilidade/durabilidade.

Com relação ao tempo despendido em cada tarefa do projeto, cabe a toda a equipe com base em sua experiência pregressa, definir no cronograma disponibilizado na planilha do PMCI o tempo que será destinado para a realização destas etapas. Para estas definições, deve ser posta em ação os conhecimentos do consultor de projeto, que é o responsável por apoiar a equipe em decisões que exijam maior experiência.

Sugestões do respondente E:

Poderia ser útil a utilização de diferentes cores (ou uso de cor sim, cor não) para as tarefas. Deste modo facilitaria a visualização das subtarefas que compõem a tarefa.

Para melhor visualizar as tarefas e subtarefas, foi congelado a linha superior das fases permitindo o deslocamento das tarefas uma a uma. Desta forma podendo auxiliar na visualização destas.

Sugestões do respondente F:

A necessidade do Excel atualizado pode ser um problema na hora do emprego/disseminação do material. Em alguns momentos o Excel não funcionava de maneira correta devido às configurações de segurança do software da universidade, o que não é um problema do material apresentado. A criação de um executável exclusivo com a mínima dependência de software externo seria interessante.

Realmente a criação de um software específico contendo a metodologia do PMCI seria interessante para não depender das restrições e atualizações do Excel. Sugestão que será levada em consideração em trabalhos futuros.

Sugestões do respondente G:

Achei sensacional a planilha, certamente irá auxiliar e muito no planejamento e execução dos próximos trabalhos relacionados a projetos de motores. Sou praticamente leigo no projeto de motores de combustão interna, mas espero ter contribuído um pouco com teu trabalho. Espero também ver esse teu esforço colocado em pratica pelos estudantes de engenharia e que os resultados apareçam. Um abraço

A evolução e consolidação do trabalho ocorrerá no momento que for colocado o PMCI em utilizações práticas. Desta forma esperamos contribuir na construção de conhecimentos em projeto de produtos, especificamente o motor de combustão interna.

Sugestões do respondente H:

Fiquei apenas com uma dúvida: onde estão previstos os cálculos e análises de engenharia? Por exemplo: cálculos cinemáticos e diagrama de velocidades nos eixos em função da rotação. Dimensionamento das transmissões. Cálculos de tensões, deformações, fadiga, frequência natural, Ciclo termodinâmico.... Você não representa a fase de Projeto Preliminar? Um abraço e sucesso na dissertação.

Na tarefa com identificador 2.4, da segunda fase de projeto, é apresentado 61 subtarefas associadas a esta tarefa. Nas subtarefas são destacados pontos técnicos de projeto, com relação as características que se deseja do motor. Certamente não engloba todas as informações, sendo este um ponto de melhoria da proposta de metodologia.

Sugestões do respondente I:

De um modo geral está ótimo! Apenas alguns detalhes que percebo importantes e que não constam no desenvolvimento. Parabéns pela iniciativa, certamente será uma ferramenta valiosa!!!

Sem a pretensão que a proposta de metodologia do PMCI esteja completamente definida, mas já se apresenta um passo na construção desta ferramenta. Sendo que esta será readequada ao ser colocada em utilização prática.

Sugestões do respondente J:

Acredito que o fluxograma tenha que ter uma rota de retroalimentação a respeito das definições que podem afetar o escopo do projeto. Estas definições podem fazer com que o custo aumente, o tempo aumente e que infelizmente não seja mais aceitável pelo cliente algumas das coisas que foram afetadas anteriormente. Dentro do escopo também se analisa o que está fora do escopo, o que não será entregue no final do projeto e deve estar dentro do Escopo, como por exemplo se o motor será entregue regulamentado, se terá boletim técnico para ser usado para fins comerciais ou só para fins acadêmicos.

Importantes pontos que foram salientados pelo respondente J e que deve ser levado em consideração no momento da elaboração do escopo do projeto. A sugestão do fluxograma retroalimentado é um ponto que pode ser analisado e melhorado ao ser posto em prática o PMCI.

Com base nas respostas e nas sugestões, verifica-se que o trabalho está no correto caminho do desenvolvimento. Estando apto para ser colocado em uma utilização prática para analisar o impacto proporcionado no desenvolvimento de um motor com o uso do PMCI.

7 CONCLUSÃO

O aumento da complexidade no desenvolvimento de produtos muitas vezes está relacionado com a não sistematização do processo. A obtenção de produtos por meio de uma metodologia de projeto traz economia de recursos físicos ao passo que se utiliza mais dos recursos intelectuais e os conhecimentos adquiridos em projetos anteriores.

A proposta desta dissertação foi sistematizar os conhecimentos para o processo de desenvolvimento de motores de combustão interna e apresentar uma metodologia que sintetizasse e auxiliasse no desenvolvimento deste produto.

Inicialmente se realizou uma pesquisa no material publicado e disponível, até o momento da realização deste trabalho e selecionado os que foram julgados relevantes. Pesquisou-se sobre projeto de motor de combustão interna, projeto de produto e gerenciamento de projeto para identificar os fatores determinantes para o projeto de motores de combustão interna. Esta pesquisa bibliográfica permitiu um embasamento teórico, onde alicerçado em pesquisadores pregressos foi possível obter um esclarecimento sobre os assuntos abordados nesta dissertação.

Posteriormente definiu-se uma estrutura básica para o PMCI, que é a metodologia do projeto de motor de combustão interna baseada em Romano (2013). Composto pelo processo de projeto estruturado por seis fases sequenciais. Esta forma de apresentação, segmentando o problema maior em menores problemas, por meio das fases de projeto, traz ganhos tanto para os envolvidos no projeto como para o produto final.

Os benefícios para os envolvidos no projeto, neste caso principalmente os estudantes de engenharia, é que pode-se tratar um problema complexo dividindo-o em pormenores e focando os esforços em cada fase do projeto. Desta forma se amplifica os pontos positivos para se chegar a uma concepção adequada e obtêm-se um ganho também na qualidade do produto final.

Dando continuidade, foi implementado a metodologia para o projeto de motor de combustão interna (PMCI), que é estruturada pela entrada da fase, identificadores da tarefa e subtarefa, a descrição da tarefa a ser realizada, os responsáveis pela realização da tarefa, e por fim a saída da corrente fase. Foram definidas seis fases para compor o PMCI, sendo estas fases identificadas de forma sequencial como: primeira fase é a de planejamento e informações sobre

o projeto do MCI, segunda fase é a de geração e seleção da concepção do MCI, terceira fase é a de detalhamento da concepção do MCI, quarta fase é a de manufatura do MCI, quinta fase é a de montagem e teste do MCI, e para o fechamento da metodologia a sexta fase que é encerramento do projeto do MCI. A metodologia também foi implementada em planilha eletrônica, de forma a possibilitar ao utilizador movimentar-se pelas fases. Esta interatividade entre o usuário e a planilha permite uma troca de informações, onde o usuário por meio de comandos movimenta-se pelas fases, identificando as tarefas e subtarefas e seus respectivos responsáveis.

Além da planilha do PMCI, foi disponibilizado ferramentas para o gerenciamento do projeto agregados na própria planilha do projeto. As ferramentas são: cronograma para a inserção do tempo de realização de cada tarefa, gráfico de controle das tarefas realizadas no decorrer dos dias de projeto e o gráfico que realiza um comparativo entre o planejado e o realizado. O gráfico comparativo considerou as variáveis custo, tempo, complexidade (número de componentes) e novidade (componentes fabricados). Estas ferramentas de gerenciamento fornecem subsídios para a equipe de projeto com relação ao tempo de duração do projeto, ao controle das tarefas realizadas no período decorrido de projeto e o quanto o projeto final se aproximou do planejamento inicial.

Finalmente, foi realizado a avaliação da metodologia por meio do envio da planilha eletrônica em conjunto com um questionário para um grupo de respondentes. Os respondentes foram profissionais da área de projeto de produto e motor de combustão interna. Dentre estes, estavam pesquisadores, projetistas e diretores de instituições, tanto por profissionais de dentro do Brasil como pesquisadores brasileiros que estão fora do país. Com isso, 68% julgaram que a metodologia do PMCI atende totalmente como um auxiliador no desenvolvimento de um motor de combustão interna e 32% dos respondentes afirmaram que atende fortemente. Já sobre o alinhamento da metodologia do PMCI com as ferramentas de gerenciamento disponibilizadas na planilha, 64% destacou que atende fortemente e 32% concluiu que atende totalmente.

Considera-se que a metodologia do PMCI possa ser utilizada para auxiliar os acadêmicos dos cursos de engenharia a desenvolver motores de combustão interna para aplicações, principalmente didáticas, sendo estes guiados e orientados por um conjunto de fases e tarefas para se chegar ao objetivo final. Também para ressaltar a importância do processo de sistematização e organização de conhecimento, sendo uma ferramenta de exemplificação e auxílio em disciplinas de projeto de produto e metodologia de projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, F. A. **Elementos finitos: a base da tecnologia CAE**. 5 ed. São Paulo: Érica, 2007.

AMARAL, C. S. T.; ROZENFELD, H. **Sistematização das melhores práticas de desenvolvimento de produtos para acesso livre e compartilhamento na internet**. *Produto&Produção*, 9(2), 120-135, 2008.

ANFAVEA. **ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES**. Estatísticas. 2014. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>>. Acesso em: 11 maio 2015.

ANTP. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO. **Sistema de Informação da Mobilidade Urbana, Relatório Geral 2011**. Dezembro/2012. Disponível em: <http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/04/11/050FC84C-74EA-4A33-A919-6D2E380FA2C1.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2014.

BACK, N.; et al. **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo: Manole, 2008.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BLAIR, G.P. **Design and Simulation of Four-Stroke Engines**; ISBN 0-7680-0440-3. Society of Automotive Engineers, Inc. SAE Order N° R-186; USA; 1999; 815p.

BOEDDRICH, H. **Ideas in the Workplace: A new approach towards organizing the fuzzy front end of the innovation process**. *Creativity and Innovation Management*, 13(4), 274-285, 2004.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Sistema de Acompanhamento do Inovar-Auto. **Inovar-Auto, Lei nº 12.715/2012**. Disponível em: <<http://www.inovarauto.mdic.gov.br/InovarAuto>>. Acesso em: 11 maio 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA n. 18, de 17 de junho de 1986**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA n. 15, de 13 de dezembro de 1995.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA n. 315, de 29 de outubro de 2002.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA n. 415, de 24 de setembro de 2009.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 06 jan. 2014.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **PROCONVE, Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/proconve_163.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2014.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários - Relatório Final. Janeiro de 2011.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2014.

BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna: volume 1.** São Paulo: Blucher, 2012a.

BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna: volume 2.** São Paulo: Blucher, 2012b.

CARVALHO, A.; FLAVIO, H. J. **A sustentabilidade na indústria automobilística: vantagem competitiva ou um sonho distante?**. Revista de Administração da UFSM, Santa Maria, v. 5, Ed. Especial, p. 785-798, dez. 2012.

CASTRO, D. E. **Reciclagem e sustentabilidade na indústria automobilística.** 1 ed. Belo Horizonte: [s.n.], 2012.

CNI. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Indústria automobilística e sustentabilidade.** Brasília: CNI, 2012.

DENATRAN. DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRANSITO. **Estatísticas. Frota 2010/11/12/13/14/15**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 11 maio 2015.

FERREIRA, A. B. de H. **Mini Aurélio: o dicionário da língua portuguesa**. 8. ed. Curitiba: Positivo, 2010.

GIACOSA, D. **Motori Endotermici Alternativi**. 4th ed. Milán, Editore Ulrico Hoepli, 1947.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HEYWOOD, J. B. **Internal Combustion Engines Fundamentals**. 2. ed., New York: McGraw-Hill, 1988. 930 p.

IBAMA. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – Proconve/Promot**. 3. ed. Brasília: Ibama, 2011. 584 p. (Coleção Meio Ambiente. Série Diretrizes – Gestão Ambiental, n.º 3).

IBBS, W.; CHIH, Y. **Alternative methods for choosing an appropriate project delivery system (PDS)**. Facilities, 29(13/14), 527-541, 2011.

LCSP, Lowell Center for Sustainable Production. **The Lowell Center Framework for Sustainable Products**. Lowell, MA: University of Massachusetts Lowell, 2009. Disponível em:<<http://www.sustainableproduction.org/downloads/LowellCenterFrameworkforSustainableProducts11-09.09.pdf>> Acesso em: 05 abril 2014.

LEITE, H. A. R.; et al. **Gestão de Projeto do Produto: A Excelência da Indústria Automotiva**. São Paulo: Atlas, 2007.

MANNING, J. **Internal Combustion Engine Design**. United Kingdom: Ricardo UK Limited, 2012. 655 p.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. 2. ed. Porto: Publindústria Edições Técnicas, 2006. 438 p.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de Marketing**. São Paulo: Ed. Atlas, 1996.

MCAULEY, J. W. **Global sustainability and key needs in future automotive design.** Environmental Science & Technology, v. 37, n. 23, p. 5414-5416, 2003.

MEDINA, H. V.; GOMES, D. E. B. **A indústria automobilística projetando para a reciclagem.** CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 2002.

MORAES, A. B.; JACOBI, L. F.; ZANINI, R. R. **Estatística.** Santa Maria: UFSM, CCNE, Departamento de Estatística, Núcleo de Estatística Aplicada, 2011.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.** São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 411 p.

PMI. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide).** Fifth Edition. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc., 2013.

PULKRABEK, W. W. **Engineering fundamentals of the internal combustion engine.** 1. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1997. 411 p.

RICARDO, H. R. **The High-Speed Internal Combustion Engine.** 2nd ed. Glasgow: Blackie, 1931. revised

ROMANO, L.N. (2013); **Desenvolvimento de máquinas agrícolas: planejamento, projeto e produção.** São Paulo: Blucher Acadêmico, 310p.

SALGADO, E. G. et al. **Modelos de referência para o desenvolvimento de produtos: classificação, análise e sugestões para pesquisas futuras.** Produção Online, 10(4), 2010.

SCHIFFMAN, L. G; KANUK, L. L. **Comportamento do consumidor.** 6 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000.

SHIGLEY, J. E. **Projeto de engenharia mecânica.** 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 960 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses: MDT.** 8. ed. Santa Maria, RS: Ed. da UFSM, 2012. 72 p.

USSUI, P. R. S. **Indicadores de sustentabilidade para aplicação no processo de desenvolvimento de produtos na indústria de autopeças**. 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

VIEIRA, J. L. **A história do automóvel: a evolução da mobilidade, volume 1: da pré-história a 1908**. São Paulo: Alaúde Editorial, 2008.

VIEIRA, J. L. **A história do automóvel: a evolução da mobilidade, volume 2: de 1908 a 1950**. São Paulo: Alaúde Editorial, 2009.

WCED – World Commission on Environment and Development. **Our common future**. United Nations, 1987.

ZARTHÚ, A. (Espírito). **Serenidade: uma terapia para a alma** [psicografado por] Robson Pinheiro. 6. ed. Contagem, MG: Casa dos Espíritos Editora, 2013.

APÊNDICES

Apêndice A – Fase 1: planejamento e informações sobre o projeto do MCI

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
Intenção/Plano do Produto	1.1	Definir se há necessidade ou desejo de projetar um motor de combustão interna	Equipe de projeto	Plano do Projeto
	1.2	Definir as funções da equipe de projeto, conforme o organograma	Equipe de projeto	
	1.3	Elaborar o termo de abertura do projeto ou carta de projeto (<i>Project Charter</i>)	Gerente do PMCI	
	1.3.1	Descrever o projeto e o produto a ser desenvolvido		
	1.3.2	Destacar as justificativas para a realização do projeto		
	1.3.3	Identificar todos os envolvidos no projeto e suas atribuições		
	1.3.4	Aprovar e assinar o termo de abertura ou carta de projeto		
	1.4	Definir o escopo do motor de combustão interna (Escopo do Produto)	Equipe de projeto	
	1.4.1	Descrever as principais características do motor de combustão interna		
	1.4.2	Descrever a aplicação do motor de combustão interna		
	1.4.3	Descrever a função do motor de combustão interna		
	1.4.4	Descrever o desempenho desejado do motor de combustão interna		
	1.4.5	Realizar <i>benchmarking</i> nos motores de interesse		
	1.4.6	Aprovar e assinar o escopo do produto		
	1.5	Definir o escopo do projeto do motor (Escopo do Projeto)	Equipe de projeto	
	1.5.1	Descrever os objetivos e justificativas do projeto		
	1.5.2	Descrever o produto do projeto		
	1.5.3	Descrever os fatores de sucesso e as restrições do projeto		
	1.5.4	Descrever a equipe de projeto e suas atribuições		
	1.5.5	Aprovar e assinar o escopo do projeto		
	1.6	Elaborar o plano de comunicação do projeto do motor de combustão interna	Gerente do PMCI	
	1.6.1	Definir como as informações serão enviadas/recebidas e armazenadas		
	1.6.2	Definir frequência, local, datas, duração e envolvidos nas reuniões		
	1.7	Elaborar o cronograma do projeto do motor de combustão interna	Gerente do PMCI; Projeto	
	1.7.1	Definir a data de início e de término do projeto		
	1.7.2	Montar o cronograma na ferramenta de controle de projeto		
	1.7.3	Definir a duração das tarefas e a relação entre as tarefas		
	1.7.4	Alocar os recursos de cada tarefa (recurso humano e recurso material)		
	1.7.5	Disponibilizar o cronograma para toda a equipe		
	1.8	Implementar o orçamento do projeto do motor de combustão interna	Administrativo Financeiro	
	1.8.1	Previsão do custo das atividades e recursos		
	1.8.2	Definir a origem do recurso financeiro do projeto e onde será armazenado		
1.8.3	Alocar os recursos financeiros necessário em cada fase			
1.9	Definir clientes/usuário do motor de combustão interna	Equipe de projeto		
1.9.1	Identificar requisitos do cliente/usuário			
1.9.2	Converter requisito do cliente em requisito de projeto e de produto (mensuráveis)			
1.9.3	Obter especificações do projeto e do motor de combustão interna			
1.9.4	Delimitar as restrições do projeto (técnicas, custos...)			
1.9.5	Hierarquizar requisitos de projeto e do produto			

1.10	Analisar tendências tecnológicas possíveis e aplicáveis	Projeto
1.10.1	Destacar as competências da equipe de projeto	
1.10.2	Verificar se a equipe tem conhecimento técnico suficiente para projetar o motor	
1.10.3	Verificar a necessidade de agregar técnico/especialista à equipe	
1.11	Avaliar a utilização de fonte alternativa de energia	Qualidade e Sustentabilidade
1.11.1	Definir a fonte a ser utilizada	
1.11.2	Definir a interação com o MCI	
1.12	Avaliar se o motor de combustão interna pode ser acionado remotamente (telemetria)	Projeto
1.12.1	Definir a forma de acionamento	
1.13	Verificar o atendimento de normas vigentes sobre poluição ambiental	Qualidade e Sustentabilidade
1.14	Definir o volume de produção	Manufatura
1.15	Delimitar os testes a serem realizados no MCI	Projeto
1.16	Definir softwares (desenho, simulações, gerenciamento, armazenamento de dados...)	Projeto
1.17	Agrupar todos os requisitos de projeto e de produto	Projeto
1.17.1	Verificar a clareza no detalhamento dos requisitos	
1.18	Elaborar lista de possíveis patrocinadores e as respectivas solicitações	Comunicação e Marketing
1.18.1	Solicitar patrocínio	
1.19	Elaborar projeto para solicitação de recursos	Comunicação e Marketing
1.20	Preparar a elaboração de artigo técnico	Assessor de Planejamento e
1.21	Implementar o plano do projeto	Gerente do PMCI
1.21.1	Sintetizar os resultados do planejamento do projeto e do produto	
1.22	Avaliar a fase	Equipe de Projeto
1.22.1	Definir se as informações obtidas são suficientes para elaborar o plano do projeto	
1.22.2	Aprovar a fase	
1.22.3	Cancelar a fase	
1.22.4	Reformular a fase	
1.23	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e Controle
1.23.1	Registrar lições no aspecto técnico	
1.23.2	Registrar lições no aspecto da gestão do projeto	

Apêndice B – Fase 2: geração e seleção da concepção do MCI

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
	2.1	Definir as funções do motor de combustão interna	Equipe de Projeto	
	2.1.1	Analisar sugestão de Estrutura Funcional		
	2.2	Definir a aplicação do motor de combustão interna	Equipe de Projeto	
	2.2.1	Movimentar veículo		
	2.2.2	Gerar energia		
	2.2.3	Fins didáticos		
	2.3	Determinar motor de velocidade constante ou velocidade variável	Equipe de Projeto	
	2.4	Desenvolver alternativas de motores de combustão interna que atendam as funções		
	2.4.1	Definir torque e potência disponíveis		
	2.4.2	Definir pressão média efetiva (BMEP)		
	2.4.3	Definir motores alternativos, rotativos, outros...		
	2.4.4	Definir número de cilindros, rotores...		
	2.4.5	Definir o ciclo de trabalho (tempos)		
	2.4.6	Definir o combustível (ou mistura de combustíveis)		
	2.4.7	Definir o processo de preparação da mistura (injeção na câmara, na admissão...)		
	2.4.8	Definir o modo de ignição (centelha, compressão)		
	2.4.9	Definir a câmara de combustão		
	2.4.10	Definir taxa de compressão		
	2.4.11	Definir relação diâmetro-curso do pistão		
	2.4.12	Determinar velocidade média do pistão		
	2.4.13	Determinar especificações do cilindro		
	2.4.14	Caracterizar a disposição dos cilindros		
	2.4.15	Definir o bloco do MCI		
	2.4.16	Determinar virabrequim		
	2.4.17	Caracterizar conjunto biela		
	2.4.18	Definir buchas dos contatos móveis (casquilhos)		
2.4.19	Determinar volante (massa armazenamento e suavização de energia)			
2.4.20	Caracterizar sistema de comando de válvulas			
2.4.21	Definir geometrias das válvulas			
2.4.22	Determinar o perfil do came			
2.4.23	Definir o sistema de acionamento das válvulas			

Plano do Projeto	2.4.24	Caracterizar o sistema de admissão	Equipe de Projeto	Concepção do MCI
	2.4.25	Definir volume reserva de ar (plenum)		
	2.4.26	Definir coletor de admissão		
	2.4.27	Definir se aspirado ou sobrealimentado		
	2.4.28	Definir o sistema de injeção de combustível (na admissão, na câmara...)		
	2.4.29	Caracterizar o sistema de exaustão		
	2.4.30	Definir coletor de descarga		
	2.4.31	Delimitar os resíduos do escapamento		
	2.4.32	Analisar a eficiência da combustão		
	2.4.33	Atender as limitações de poluentes pelas legislações vigentes		
	2.4.34	Controlar e reduzir as emissões de poluentes		
	2.4.35	Caracterizar o sistema de arrefecimento		
	2.4.36	Definir o fluido de arrefecimento		
	2.4.37	Caracterizar o sistema de lubrificação		
	2.4.38	Definir fluido de lubrificação		
	2.4.39	Determinar o sistema de vedação dos fluídos		
	2.4.40	Caracterizar o sistema de movimentação dos fluídos (definir bombas. Mangueiras...)		
	2.4.41	Determinar o sistema de filtro dos fluídos		
	2.4.42	Definir os reservatórios dos fluídos		
	2.4.43	Determinar como indicar o volume dos reservatórios		
	2.4.44	Caracterizar a sequência de combustão/ignição		
	2.4.45	Definir valor máximo de decibéis		
	2.4.46	Definir atenuador de ruídos (muffler)		
	2.4.47	Realizar análise tribológica dos materiais		
	2.4.48	Caracterizar o sistema de partida		
	2.4.49	Estipular o sensoriamento do motor de combustão interna		
	2.4.50	Definir o sensor de fase (posição do virabrequim)		
	2.4.51	Definir o sensor de massa de ar (MAF)		
	2.4.52	Definir o sensor de pressão no coletor		
	2.4.53	Definir o sensor de posição do acelerador		
	2.4.54	Definir os sensores de temperatura (fluídos)		
	2.4.55	Definir o sensor de concentração de oxigênio no escapamento (sonda lambda)		
2.4.56	Definir o sensor de detonação			
2.4.57	Definir demais sensores			
2.4.58	Caracterizar a unidade de controle do motor (ECU)			
2.4.59	Definir o sistema de atenuação de vibrações mecânicas e ruídos			
2.4.60	Analisar desbalanceamento e atrito			
2.4.61	Verificar forças de primeira e segunda ordem			

2.5	Delimitar as simulações computacionais	Equipe de Projeto
2.6	Definir teste dinamométrico	Montagem e Teste
2.7	Caracterizar fonte de tensão para alimentar o sistema elétrico	Projeto
2.8	Montar matriz morfológica com os princípios de solução	Projeto
2.9	Verificar se atende os requisitos de projeto e produto	Equipe de Projeto
2.10	Verificar se atende as restrições de projeto	Equipe de Projeto
2.11	Analisar questões estéticas e ergonômicas	Equipe de Projeto
2.12	Analisar sustentabilidade do projeto e produto	Qualidade e Sustentabilidade
2.13	Definir geometrias dos componentes e sistemas	Projeto
2.14	Modelar em software tridimensional (CAD)	Projeto
2.15	Criar mockup físico	Equipe de Projeto
2.16	Verificar requisitos de fabricação e montagem	Manufatura; Montagem e Teste
2.17	Analisar as concepções geradas	Equipe de Projeto
2.17.1	Analisar o atendimento do desempenho desejado em operação	
2.17.2	Analisar questões de fabricação	
2.17.3	Analisar questões de montagem	
2.17.4	Analisar questões de custo	
2.17.5	Analisar questões de qualidade	
2.18	Selecionar a concepção	Equipe de Projeto
2.18.1	Comparar e valorar as alternativas de soluções	
2.18.2	Ver matriz de decisão	
2.18.3	Selecionar a concepção mais adequada	
2.19	Verificar se o conceito escolhido atende todos os requisitos e restrições	Equipe de Projeto
2.20	Analisar a viabilidade técnica e econômica	Projeto; Administrativo Financeiro
2.20.1	Verificar se é possível desenvolver a concepção selecionada no tempo disponível	
2.20.2	Verificar se a prospecção de recursos financeiros custeará o projeto e o produto	
2.21	Avaliar a fase	Equipe de Projeto
2.21.1	Definir se a concepção atende todos os requisitos de cliente, projeto e manufatura	
2.21.2	Aprovar a fase	
2.21.3	Cancelar a fase	
2.21.4	Reformular a fase	
2.22	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e Controle
2.22.1	Registrar lições no aspecto técnico	
2.22.2	Registrar lições no aspecto da gestão do projeto	

Apêndice C – Fase 3: detalhamento da concepção do MCI

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
	3.1	Destacar normas e resoluções que devem ser utilizadas (ISO, Emissões (Proconve), GD&T...)	Equipe de Projeto	
	3.2	Detalhar os componentes e sistemas do MCI	Projeto; Manufatura; Montagem e Teste	
	3.2.1	Dimensionar os componentes e sistemas		
	3.2.2	Modelar em software CAD		
	3.2.3	Esboçar partindo da peça bruta e atribuir material		
	3.2.4	Especificar as tolerâncias dos componentes		
	3.2.5	Definir tolerância dimensional, geométrica e rugosidade dos componentes		
	3.2.6	Realizar a montagem do MCI em CAD		
	3.2.7	Simular os componentes e sistemas do MCI (CAE)		
	3.2.8	Simular os componentes e sistemas mecânicos		
	3.2.9	Simular os sistemas de fluídos		
	3.2.10	Simular o sistema eletroeletrônico		
	3.2.11	Otimizar componentes e sistemas		
	3.2.12	Criar código para os componentes e sistemas		
	3.2.13	Montar lista com código, componente e sistema		
	3.2.14	Nomear os documentos conforme o código		
	3.2.15	Gerar desenhos de fabricação dos componentes		
	3.3	Planejar o processo de fabricação e montagem dos componentes e sistemas	Manufatura; Montagem e Teste	
	3.3.1	Definir o processo de fabricação para cada componente		
	3.3.2	Definir o local de fabricação de cada componente		
	3.3.3	Alocar máquina e operador para cada componente		
	3.4	Definir entre fabricar ou comprar cada componente	Projeto; Manufatura; Administrativo Financeiro; Qualidade e Sustentabilidade	
	3.4.1	Levantar custo, tempo e capacidade de fabricação de cada componente		
	3.4.2	Obter custo da matéria prima		
	3.4.3	Obter custo da fabricação (processo)		
	3.4.4	Obter custo da mão-de-obra especializada		
	3.4.5	Obter custo do ferramental		
	3.4.6	Considerar custos extras (transporte, armazenamento...)		
	3.4.7	Levantar custo de compra e frete de cada componente		
	3.4.8	Comparar custo de fabricar e comprar componente		
	3.4.9	Decidir entre fabricar ou comprar componente		

Concepção do MCI	3.5	Indicar componentes/sistemas que serão manufaturados	Projeto; Manufatura	Concepção Detalhada do MCI
	3.5.1	Definir se é possível fabricar internamente		
	3.5.2	Definir onde será fabricado		
	3.5.3	Definir como será fabricado (processo de fabricação)		
	3.5.4	Definir a fabricação de moldes e modelos (fundição)		
	3.5.5	Definir a matéria prima a ser utilizada no componente		
	3.5.6	Montar o plano de manufatura do componente		
	3.5.7	Definir dimensão da peça bruta com sobremetal		
	3.5.8	Definir sequência de operações de fabricação		
	3.5.9	Definir máquinas, equipamento e ferramental		
	3.5.10	Definir técnico responsável pela fabricação		
	3.5.11	Verificar a otimização do processo de manufatura		
	3.5.12	Obter número de componentes manufaturados		
	3.6	Indicar componentes/sistemas que serão comprados	Projeto; Administrativo Financeiro	
	3.6.1	Identificar se existe item igual ou semelhante no mercado		
	3.6.2	Definir se vai ser comprado		
	3.6.3	Definir onde será comprado		
	3.6.4	Definir o responsável pela compra		
	3.6.5	Montar o pedido de compras		
	3.6.6	Obter número de componentes comprados		
	3.7	Indicar operações de manufatura que serão realizadas externamente (terceiros)	Projeto; Manufatura	
	3.8	Identificar as interfaces do MCI	Equipe de Projeto	
	3.8.1	Definir onde será aplicado		
	3.8.2	Definir como será aplicado		
	3.8.3	Desenvolver dispositivos de fixação e transporte		
	3.8.4	Definir local de armazenamento		
	3.8.5	Estabelecer o modo de acionamento/operação do motor		
	3.9	Revisar desenhos de fabricação do MCI	Projeto; Manufatura	
	3.9.1	Definir se há necessidade de alteração no desenho de fabricação		
	3.9.2	Verificar se acarreta alterações em outros desenhos		
	3.9.3	Realizar todas as alterações necessárias		
	3.9.4	Verificar se o projeto está adequado		
	3.10	Criar a lista de materiais (BOM)	Projeto	
3.11	Preparar a ordem de manufatura dos componentes	Manufatura; Administrativo Financeiro		
3.11.1	Comprar material para o processo de manufatura (matéria prima, ferramental...)			

	3.12	Elaborar o plano de montagem do MCI	Montagem e Teste
	3.12.1	Definir sequência de montagem	
	3.12.2	Montar lista de ferramentas necessárias para a montagem	
	3.12.3	Preparar o manual de montagem do MCI	
	3.13	Desenvolver o manual de operação e manutenção do MCI	Montagem e Teste
	3.14	Atualizar os recursos financeiros do projeto	Administrativo Financeiro
	3.14.1	Verificar se os recursos planejados serão suficientes	
	3.14.2	Verificar a necessidade de buscar novos investidores/patrocinadores	
	3.15	Avaliar a fase	Equipe de Projeto
	3.15.1	Definir se a concepção detalhada está adequada para a manufatura	
	3.15.2	Aprovar a fase	
	3.15.3	Cancelar a fase	
	3.15.4	Reformular a fase	
	3.16	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e Controle
	3.16.1	Registrar lições no aspecto técnico	
	3.16.2	Registrar lições no aspecto da gestão do projeto	

Apêndice D – Fase 4: manufatura do MCI

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
Concepção Detalhada do MCI	4.1	Planejar e preparar a manufatura dos componentes	Gerente do PMCI; Manufatura	Componentes Manufaturados e Comprados
	4.1.1	Verificar e separar matéria prima e ferramental		
	4.1.2	Verificar disponibilidade de máquinas e operador		
	4.1.3	Alocar máquina e operador		
	4.1.4	Atualizar cronograma e orçamento		
	4.1.5	Agrupar desenho de fabricação com a respectiva ordem de manufatura		
	4.1.6	Anexar desenho com a respectiva matéria prima		
	4.1.7	Conferir desenho de fabricação, matéria prima e ordem de manufatura		
	4.1.8	Liberar fabricação		
	4.2	Acompanhar a fabricação dos componentes	Qualidade e Sustentabilidade	
	4.2.1	Elaborar relatórios sobre o andamento da fabricação		
	4.3	Atualizar lista e prazo de entrega dos itens comprados	Administrativo Financeiro	
	4.3.1	Verificar e receber itens comprados		
	4.4	Verificar e documentar problemas de fabricação	Qualidade e Sustentabilidade	
	4.4.1	Investigar a origem do problema		
	4.4.2	Analisar as falhas causadas por este defeito		
	4.4.3	Realizar ação corretiva dos problemas de fabricação		
	4.4.4	Otimizar o processo de fabricação		
	4.5	Aprovar e receber itens manufaturados	Projeto; Manufatura; Montagem e Teste	
	4.5.1	Realizar inspeção visual		
	4.5.2	Realizar Ensaio Não Destrutivo - END (líquidos penetrantes...)		
	4.5.3	Verificar dimensional com equipamento adequado		
	4.5.4	Pesar item e registar		
	4.5.5	Adicionar etiqueta com o código do item		
	4.5.6	Estocar/Armacenar item (almoxarifado ou estoque)		
	4.6	Revisar/corrigir desenhos de manufatura	Projeto	
	4.7	Verificar se todos componentes foram fabricados e comprados	Manufatura; Administrativo	
	4.8	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	4.8.1	Definir se todos componentes/sistemas estão disponíveis para a montagem		
	4.8.2	Aprovar a fase		
4.8.3	Cancelar a fase			
4.8.4	Reformular a fase			
4.9	Gerar relatório da fase (Resultados)	Assessor de Planejamento e Controle		
4.9.1	Registrar lições no aspecto técnico			
4.9.2	Registrar lições no aspecto da gestão do projeto			

Apêndice E – Fase 5: montagem e teste do MCI

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
Componentes Manufaturados e Comprados	5.1	Alocar técnicos para montagem do motor	Gerente do PMCI; Montagem e Teste	MCI Montado e Testado
	5.1.1	Preparar bancada de montagem		
	5.1.2	Definir os equipamento de proteção (EPI, EPC)		
	5.1.3	Separar ferramental para montagem		
	5.1.4	Agrupar ferramentas, chaves		
	5.1.5	Agrupar consumíveis (lubrificantes, equipamentos de limpeza...)		
	5.2	Revisar o manual de montagem	Montagem e Teste	
	5.3	Identificar os componentes através do código da etiqueta	Qualidade e Sustentabilidade	
	5.3.1	Separar componentes		
	5.3.2	Inspecionar recursos e liberar a montagem		
	5.4	Iniciar a montagem/desmontagem do MCI	Montagem e Teste	
	5.4.1	Identificar e otimizar problemas de montagem		
	5.4.2	Concluir montagem do motor		
	5.4.3	Gerar relatório dos problemas/sugestões de montagem do motor		
	5.5	Alocar técnicos para teste do motor	Gerente do PMCI; Montagem e Teste	
	5.5.1	Organizar bancada de teste		
	5.5.2	Preparar instrumentação do motor		
	5.5.3	Organização a captação de informações/sinais do motor		
	5.5.4	Instrumentar motor		
	5.6	Preparar material para teste do motor	Montagem e Teste	
	5.6.1	Organizar consumíveis (combustível, óleos...)		
	5.6.2	Separar equipamentos de proteção		
	5.6.3	Adequar o local do teste		
	5.6.4	Isolar o local do teste		
	5.7	Revisar montagem e instrumentação do MCI	Montagem e Teste	
	5.7.1	Verificar se o motor está preparado para operar/funcionar		
	5.8	Iniciar o teste do motor em operação	Montagem e Teste	
	5.8.1	Comparar resultados do teste com a simulação/projeto		
	5.8.2	Verificar a necessidade de ajustes no motor		
	5.8.3	Definir se o motor precisar ser desmontado (se sim: voltar ao item 5.4)		
5.8.4	Identificar e otimizar problemas de teste do motor			
5.8.5	Verificar se o desempenho do motor está conforme o esperado (se não: voltar 5.8)			
5.8.6	Armazenar dados obtidos no testes			
5.9	Concluir testes do motor	Gerente do PMCI; Montagem e Teste		
5.9.1	Gerar relatório dos problemas/resultados do teste do motor			

	5.10	Avaliar a fase	Equipe de Projeto
	5.10.1	Definir se a montagem e teste corresponderam ao planejado	
	5.10.2	Aprovar a fase	
	5.10.3	Cancelar a fase	
	5.10.4	Reformular a fase	Assessor de Planejamento e Controle
	5.11	Gerar relatório da fase (Resultados)	
	5.11.1	Registrar lições no aspecto técnico	
	5.11.2	Registrar lições no aspecto da gestão do projeto	

Apêndice F – Fase 6: encerramento do projeto do MCI

Entrada	Id	Tarefa	Responsável	Saída
MCI Montado e Testado	6.1	Apresentar o cronograma atualizado	Gerente do PMCI	Relatório de Encerramento do Projeto do MCI
	6.1.1	Comparar cronograma real x planejado		
	6.2	Realizar o balanço financeiro	Administrativo Financeiro	
	6.2.1	Explicitar todas entradas e saídas		
	6.2.2	Agrupar notas fiscais		
	6.2.3	Definir ação sobre resultado financeiro	Comunicação e Marketing	
	6.3	Demonstrar a evolução do projeto		
	6.3.1	Montar recurso áudio visual com cronologia do projeto		
	6.3.2	Reunir rascunhos iniciais até produto final	Qualidade e Sustentabilidade	
	6.4	Elaborar e aplicar questionário na equipe de projeto		
	6.4.1	Relatar dificuldades encontradas		
	6.4.2	Destacar pontos positivos e negativos	Gerente do PMCI	
	6.5	Documentar sugestões e lições aprendidas		
	6.6	Elaborar documento descrevendo o destino do produto final	Assessor de Planejamento e Controle	
	6.6.1	Nomear responsável pelo armazenamento e manutenção MCI		
	6.6.2	Colher assinatura da equipe de projeto		
	6.7	Elaborar ata de encerramento do projeto	Gerente do PMCI	
	6.8	Providenciar o adequado destino aos resíduos gerados	Qualidade e Sustentabilidade	
	6.8.1	Separar e etiquetar os resíduos gerados		
	6.8.2	Obter o volume por tipo de resíduo separado		
	6.9	Finalizar o artigo com resultados do projeto	Equipe de Projeto	
	6.9.1	Submeter artigo		
	6.9.2	Arrecadar verba para submissão do artigo		
	6.10	Concluir o relatório final de projeto	Equipe de Projeto	
	6.10.1	Elaborar relatório por setor		
	6.10.2	Unificar relatórios setoriais		
	6.10.3	Aprovar relatório final de projeto		
	6.11	Avaliar a fase	Equipe de Projeto	
	6.11.1	Verificar se as atividades de encerramento foram concluídas		
	6.11.2	Aprovar a fase		
6.11.3	Cancelar a fase			
6.11.4	Reformular a fase			
6.12	Gerar relatório de Encerramento do Projeto	Assessor de Planejamento e Controle; Equipe de Projeto		
6.12.1	Registrar lições no aspecto técnico			
6.12.2	Registrar lições no aspecto da gestão do projeto			
6.12.3	Aprovar e assinar o encerramento do projeto			