

JORGE RADOSEVIC RUPCIC

**PROCESSO DE ANÁLISE E DIRECIONAMENTO DE
PROJETO DE *POWERTRAIN* PARA O MELHOR
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL VEICULAR**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Automotiva (Mestrado Profissionalizante)

São Paulo
2002

**CONSULTA
FMP-19**

OK

JORGE RADOSEVIC RUPCIC

**PROCESSO DE ANÁLISE E DIRECIONAMENTO DE
PROJETO DE *POWERTRAIN* PARA O MELHOR
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL VEICULAR**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Automotiva (Mestrado Profissionalizante)

Área de Concentração:
Engenharia Automotiva (Mestrado
Profissionalizante)

Orientador:
Prof. Titular
Dr. Marcelo Massarani

São Paulo

2002

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
TERMO DE JULGAMENTO
DE
TRABALHO FINAL DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 03 dias do mês de dezembro de 2002, às 09:00 horas, no Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, presente a Comissão Julgadora, integrada pelos Senhores Professores Doutores Marcelo Massarani, Orientador(a) do(a) candidato(a) Paulo Carlos Kaminski e Roberto Carneiro Filho, iniciou-se o Trabalho Final de Conclusão de Curso do(a) Sr(a). **JORGE RADOSEVIC RUPCIC**

Título do Trabalho Final de Conclusão de Curso:

"PROCESSO DE ANÁLISE E DIRECIONAMENTO DE PROJETO DE POWERTRAIN PARA O MELHOR CONSUMO DE COMBUSTÍVEL VEICULAR"

Concluída a arguição, procedeu-se ao julgamento na forma regulamentar, tendo a Comissão Julgadora considerado o(a) candidato(a):

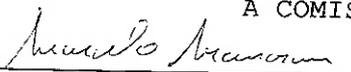
Prof.Dr. Marcelo Massarani..... (APROVADO)

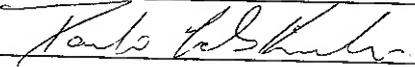
Prof.Dr. Paulo Carlos Kaminski..... (APROVADO)

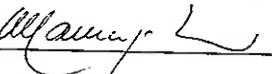
Roberto Carneiro Filho..... (APROVADO)

Para constar, é lavrado o presente termo, que vai assinado pela Comissão Julgadora e pela Coordenação do Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva.

São Paulo, 03 de dezembro de 2002.
A COMISSÃO JULGADORA

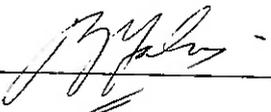






Coordenador:

Prof. Dr. Ronaldo de B. Salvagni



Homologado pela C.P.G. em reunião realizada 29/01/2003.

ERRATA

PAGINA DE ROSTO

- Aonde se lê: Prof. Titular Dr. Marcelo Massarani,
- Leia-se: Prof. Dr Marcelo Massarani.

PAGINA DO RESUMO

- Aonde se lê:

O presente trabalho identifica e analisa os fatores que afetam o consumo de combustível veicular oriundos do veículo, do motor e da transmissão. As variáveis provenientes do motor e transmissão são associadas com as últimas iniciativas desenvolvidas com o objetivo de aprimorar o atendimento do requisito de consumo de combustível veicular.

Com o conhecimento das variáveis é proposta metodologia de análise e julgamento conjunto das tecnologias propostas com variáveis de um projeto, com o objetivo de melhorar o desempenho do veículo em consumo de combustível, facilitando o planejamento do produto e a tomada de decisão.

- Leia-se:

O presente trabalho identifica inicialmente os fatores que afetam o consumo de combustível veicular oriundos do veículo automotor, do motor a combustão interna, da transmissão e do meio ambiente. Os fatores provenientes do motor a combustão e da transmissão, são associados com as últimas iniciativas desenvolvidas com o objetivo de reduzir o consumo de combustível veicular.

Com o conhecimento destas variáveis e das alternativas técnicas existentes para minimizar seus efeitos contrários ao melhor consumo de combustível, é proposto um método de análise ponderada e julgamento de viabilidade de projeto utilizando como cenários: o nível de desenvolvimento, o tempo de desenvolvimento, a alteração de conceito ou estrutura, o custo de engenharia, o investimento, a competitividade e a intercambialidade. O resultado desta análise é apresentado na forma de gráficos. Vários cenários técnicos são simulados utilizando o método proposto e comparados, demonstrando como deve ser conduzida a aprovação de proposta técnica que tenha por objetivo reduzir o consumo de combustível veicular.

PAGINA DO ABSTRACT

- Aonde se lê:

This text analyses and divides the variables whose affects the vehicle fuel consumption in factors originated on vehicle, on engine and on transmission side. The variables from engine and transmission are associated with the last initiatives developed to improve the compliance with the fuel consumption requirement.

With the knowledge of the variables it is being proposed a methodology of analysis combined with a judgment of the proposed technologies with project variables aiming to improve vehicle fuel consumption, making easy the product planning and decision take.

- Leia-se:

This report initially identifies the factors whose affects vehicle fuel consumption derived from the vehicle itself, from the internal combustion engine, from the transmission and the environment. The factors from the combustion engine and transmission are being associated with the last worldwide initiatives developed with the objective to minimize the vehicle fuel consumption.

With the knowledge of these variables and with the existing technical alternatives to minimize the unfavourable consequences for the best fuel consumption, it is being proposed a project viability weighted methodology of analysis and judgement by means of the following parameters: development level, development timing, concept or structure change, engineering cost, investment and interchange ability.

The result of this analysis is presented in a graphic way. Technical scenarios are simulated with the methodology, as well its comparison demonstrating how a technical proposal approval with the objective to minimize fuel consumption shall be conducted.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO.....	01
1.1	REAÇÃO DO MERCADO AUTOMOTIVO.....	01
1.2	DESCRIÇÃO DO TRABALHO.....	03
2	REAÇÃO DENTRO DO FABRICANTE - COMUNICAÇÃO.....	05
2.1	PRODUTO SITUADO NO MERCADO.....	07
2.2	MENSURAÇÕES PARA SITUAR O PRODUTO.....	09
2.3	CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL.....	14
2.4	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL VEICULAR.....	15
2.4.1	TESTE DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL VEICULAR.....	16
2.4.2	CICLO URBANO.....	17
2.4.3	CICLO EXTRA-URBANO.....	18
3	DEFINIÇÃO DO REQUISITO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL...	19
3.1	FATORES EXTERNOS AO <i>POWERTRAIN</i>	20
3.1.1	MASSA VEICULAR.....	20
3.1.2	ÁREA FRONTAL E PENETRAÇÃO AERODINÂMICA.....	23
3.1.3	RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO.....	24
3.1.4	RESISTÊNCIA DE INÉRCIA.....	24
3.1.5	ACESSÓRIOS DE CONVENIÊNCIA E SISTEMAS DE APOIO.....	26
3.1.6	EMISSÃO DE POLUENTES.....	28
3.1.7	COMBUSTÍVEL BRASILEIRO – GASOLINA COM ADIÇÃO DE ÁLCOOL E VARIAÇÃO DA ESPECIFICAÇÃO.....	30
3.1.8	MEIO.....	32
3.1.9	ATENDENDO A DEMANDA DE ENERGIA.....	33
3.2	FATORES INTERNOS AO <i>POWERTRAIN</i>	34
3.2.1	ATRITOS INTERNOS DO MOTOR.....	35

FICHA CATALOGRÁFICA

Rupcic, Jorge Radosevic

Processo de análise e direcionamento de projeto de powertrain para o melhor consumo de combustível veicular / Jorge Radosevic Rupcic. -- São Paulo, 2002.

p. 98

Trabalho de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1. Combustíveis veiculares 2. Consumo (Análise)
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. II. t.

A minha família pelo constante incentivo e a todos que atuam ou que desejem atuar no mundo automotivo.

AGRADECIMENTOS

Ao corpo docente do Mestrado em Engenharia Automotiva da USP, em especial ao Prof. Dr. Marcelo Massarani pelas diretrizes e ao departamento de treinamento da General Motors do Brasil.

E também ao apoio dos demais não citados que direta e indiretamente colaboraram.

RESUMO

O presente trabalho identifica e analisa os fatores que afetam o consumo de combustível veicular oriundos do veículo, do motor e da transmissão. As variáveis provenientes do motor e transmissão são associadas com as últimas iniciativas desenvolvidas com o objetivo de aprimorar o atendimento do requisito de consumo de combustível veicular.

Com o conhecimento das variáveis é proposta metodologia de análise e julgamento conjunto das tecnologias propostas com variáveis de um projeto, com o objetivo de melhorar o desempenho do veículo em consumo de combustível, facilitando o planejamento do produto e a tomada de decisão.

ABSTRACT

This text analyze and divide the variables whose affects the vehicle fuel consumption in factors originated on vehicle, on engine and on transmission side. The variables from engine and transmission are associated with the last initiatives developed to improve the compliance with the fuel consumption requirement.

With the knowledge of the variables it is being proposed a methodology of analysis combined with a judgment of the proposed technologies with project variables aiming to improve vehicle fuel consumption, making easy the product planning and decision take.

SUMÁRIO - cont.

3.2.2	ATRITO NOS MANCAIS DE SUSTENTAÇÃO.....	36
3.2.3	ATRITO LINEAR DOS ANÉIS DE SEGMENTO COM A CAMISA E PROJETO DO CILINDRO.....	38
3.2.4	ATRITO DO SISTEMA DE ACIONAMENTO DE VÁLVULAS.....	39
3.2.5	SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO - BOMBA DE ÓLEO.....	40
3.2.6	<i> Downsizing</i>	40
3.2.7	CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES RELATIVAS AOS ATRITOS INTERNOS.....	42
3.2.8	BOMBEAMENTO.....	42
3.2.9	VISCOSIDADE DO ÓLEO LUBRIFICANTE DO MOTOR.....	42
3.2.10	TRANSMISSÃO E ESCALONAMENTO DE MARCHAS.....	44
3.2.11	VISCOSIDADE DO ÓLEO LUBRIFICANTE DA TRANSMISSÃO E EIXO TRATOR.....	46
3.2.12	FASE FRIA DO <i>POWERTRAIN</i>	47
3.3	VISÃO COMPARATIVA DE EXPOENTE TECNOLÓGICO: <i>HONDA INSIGHT</i>	49
3.3.1	COMPARAÇÃO: <i>HONDA INSIGHT</i> X PRODUTOS NACIONAIS.....	50
3.3.2	ESTRATÉGIA DE GERENCIAMENTO DO MOTOR.....	56
3.3.3	COMENTÁRIOS ADICIONAIS SOBRE A ARQUITETURA GERAL DO <i>INSIGHT</i>	58
3.3.4	COMPARATIVO: <i>HONDA INSIGHT</i> E MOTORES COM APLICAÇÃO NO BRASIL.....	59
3.4	TECNOLOGIAS APLICADAS NO BRASIL E EXTERIOR.....	60
4	PROJETO EM FUNÇÃO DO CONSUMO.....	62
4.1	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE JULGAMENTO	62
4.2	ANÁLISE PONDERADA DE CADA PARÂMETRO	64
4.3	VISUALIZAÇÃO GRÁFICA	69
4.4	SIMULAÇÃO DE MODELOS.....	71
4.4.1	MODELO I - IMPACTO ESTIMADO DAS VARIÁVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE MODIFICADO QUE REDUZ ATRITO NO MOTOR	72
4.4.2	CONCLUSÕES INDIRETAS DO MODELO	74
4.4.3	MODELO II - IMPACTO ESTIMADO DAS VARIÁVEIS NA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE ACIONAMENTO DE VÁLVULAS COM ATRITO REDUZIDO	75

SUMÁRIO - cont.

4.4.4	MODELO III - SOBREPÓSICÃO DOS MODELOS I E II - ÓLEO LUBRIFICANTE MODIFICADO QUE REDUZ ATRITO NO MOTOR E SISTEMA DE ACIONAMENTO DE VÁLVULAS COM ATRITO REDUZIDO	77
4.4.5	MODELO IV - IMPACTO ESTIMADO DAS VARIÁVEIS NA IMPLEMENTAÇÃO DE CONJUNTO PISTÃO E ANÉIS DE SEGMENTO DE MENOR ATRITO, CONJUGADO AO ACABAMENTO DA CAMISA	81
4.4.6	MODELO V - ÓLEO LUBRIFICANTE MODIFICADO QUE REDUZ ATRITO NO MOTOR; SISTEMA DE ACIONAMENTO DE VÁLVULAS QUE REDUZ ATRITO NO MOTOR E CONJUNTO PISTÃO E ANÉIS DE SEGMENTO DE MENOR ATRITO CONJUGADO AO ACABAMENTO DA CAMISA	83
4.4.7	MODELO VI - IMPACTO ESTIMADO DAS VARIÁVEIS NA IMPLEMENTAÇÃO COMANDO DE VÁLVULAS CONTINUAMENTE VARIÁVEL.....	84
4.4.8	MODELO VII - IMPACTO ESTIMADO DAS VARIÁVEIS NA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE GERENCIAMENTO ELETRÔNICO DO MOTOR AUTÔNOMO	86
5	CONCLUSÕES.....	88
5.1	AÇÕES SINÉRGICAS.....	89
5.2	EFICÁCIA DO MODELO PROPOSTO E PRÓXIMOS PASSOS	90
6	LISTA DE REFERÊNCIAS.....	92

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	RELAÇÃO MEIO X VEÍCULO X CONCORRENTE.....	08
FIGURA 02	REFERENCIAS BASICAS DO PRODUTO.....	11
FIGURA 03	CONFLITO DE INFORMAÇÕES – BASES DISTINTAS.....	12
FIGURA 04	CICLO URBANO/RODOVIÁRIO - VELOCIDADE VARIANDO COM O TEMPO.....	13
FIGURA 05	CICLO DE CONSUMO DE ENERGIA DIRETA E INDIRETA.....	28
FIGURA 06	RELAÇÃO DE COMPRESSÃO DE MOTORES CICLO <i>OTTO</i> A GASOLINA COMERCIALIZADOS NO BRASIL....	31
FIGURA 07	INFLUÊNCIA DOS ACESSÓRIOS NO ATRITO DO MOTOR.....	36
FIGURA 08	COMPARATIVO ENTRE MOTOR NA E <i>DOWN SIZED</i> SEGUNDO FATOR 1,4.....	41
FIGURA 09	<i>HONDA INSIGHT</i>	50
FIGURA 10	EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA: BRASIL X EUROPA, EUA E JAPÃO.....	61
FIGURA 11	GRÁFICO SPIDER COM OS EIXOS E PARÂMETROS DE ANÁLISE.....	70
FIGURA 12	MODELO I - ANÁLISE DE VARIÁVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE DE BAIXO ATRITO.....	73
FIGURA 13	CONCLUSÕES INDIRETAS EXTRAÍDAS DO MODELO I	74
FIGURA 14	MODELO II - ANÁLISE DE VARIÁVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO DE TREM DE VÁLVULAS DE BAIXO ATRITO	76
FIGURA 15	MODELO III - ANÁLISE DE VARIÁVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO DOS MODELOS I E II SOBREPOSTOS.....	78
FIGURA 16	ANÁLISE ESTIMADA DA SOBREPOSIÇÃO DA FIGURA DE IMPLEMENTAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE E TREM DE VÁLVULAS E SUA RESULTANTE	80
FIGURA 17	MODELO IV - ANÁLISE DE VARIÁVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO DE CONJUNTO PISTÃO E ANÉIS DE SEGMENTO DE MENOR ATRITO CONJUGADO AO ACABAMENTO DA CAMISA.....	82
FIGURA 18	COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS I, II E IV.....	83

LISTA DE FIGURAS - cont.

FIGURA 19	ANÁLISE COMPARATIVA DAS VARIÁVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO DO TREM DE VÁLVULAS CONTINUAMENTE VARIÁVEL.....	85
FIGURA 20	MODELO VII - ANÁLISE DE VARIÁVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DO MOTOR AUTÔNOMO.....	87
FIGURA 22	CONCLUSÕES INDIRETAS DO MODELO	89

LISTA DE TABELAS

TABELA 01	CONSUMO ESPECÍFICO X CONSUMO VEÍCULAR NORMALIZADOS.....	15
TABELA 02	DURAÇÃO DO TESTE FTP 75.....	16
TABELA 03	COMPARATIVO DE COMPONENTES TRANSMISSORES DE TORQUE E NÃO TRANSMISSORES EM UM VEÍCULO COM MOTOR DIANTEIRO E TRAÇÃO TRASEIRA.....	26
TABELA 04	COMPARATIVO DOS ATUAIS LIMITES DE EMISSÕES E FUTUROS.....	30
TABELA 05	ALGUMAS INICIATIVAS MUNDIAIS NA APLICAÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE PARA REDUÇÃO DE CONSUMO VEICULAR.....	44
TABELA 06	TORQUE E ESCALONAMENTO X DESEJO DO CLIENTE E SOLUÇÃO ENCONTRADA PELO FABRICANTE.....	45
TABELA 07	PERDA DE TORQUE EM FUNÇÃO DO TIPO DE ÓLEO LUBRIFICANTE UTILIZADO.....	46
TABELA 08	PERDA DE TORQUE EM ÓLEOS COM VÁRIAS VISCOSIDADES.....	47
TABELA 09	COMPARATIVO HONDA INSIGHT E MOTORES COM APLICAÇÃO NO BRASIL.....	60
TABELA 10	EXEMPLO: VARIAÇÃO DA NOTA EM FUNÇÃO DO AGRUPAMENTO DE ATIVIDADES DE DESENVOLVIMENTO.....	64
TABELA 11	EXEMPLO: VARIAÇÃO DA NOTA EM FUNÇÃO DE ETAPAS DE MANUFATURA DE NOVOS COMPONENTES OU SISTEMAS.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	<i>Automatic brake system</i> - Sistema de freios automático
ANFAVEA	Associação dos fabricantes de veículos automotores
ABEIVA	Associação Brasileira das empresas importadoras de veículos automotores
CO	Monóxido de Carbono - um dos poluentes resultantes do processo de combustão de um motor
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CVT	<i>Continuously variable transmission</i> - Transmissão continuamente variável
DIS	<i>Direct ignition system</i> - Sistema de ignição direta
DOHC	<i>Double overhead camshaft</i> - Duplo comando de válvulas no cabeçote
EGR	<i>Exhaust gas recirculate valve</i> - Válvula de recirculação dos gases de escape
EPA	<i>Environment protection agency</i> - Agência de proteção ao meio-ambiente
EPS	<i>Electric power steering system</i> - Sistema de direção eletro-assistida
E0	Combustível composto por 0% de álcool anidro e 100% de gasolina
E22	Combustível composto por 22% de álcool anidro e 78% de gasolina
E100	Combustível composto por 100% de álcool
FMEP	<i>Friction mean effective pressure</i> - Pressão média efetiva de atrito
FnC	Falha na comunicação
FTP	<i>Federal test procedure</i> - Procedimento de teste federal utilizado nos Estados Unidos
HC	Hidróxido de Carbono - um dos poluentes resultantes do processo de combustão de um motor a combustão
L4	Motor que contém 4 cilindros dispostos em linha
MPFI	<i>Multi port fuel injection</i> - Sistema de injeção de combustível multi-ponto
NOx	Óxido de Nitrogênio - um dos poluentes resultantes do processo de combustão de um motor
SOHC	<i>Single overhead camshaft</i> - Comando de válvulas simples no cabeçote
V6	Motor que contém 6 cilindros dispostos em V, onde cada 3 cilindros estão alocados em cada bancada do bloco

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS - cont.

1.0 8V	Motor com 1,0 litro de deslocamento e 8 válvulas
1.0 16V	Motor com 1,0 litro de deslocamento e 16 válvulas

1 INTRODUÇÃO

Um projeto de *powertrain* * devido à complexidade de suas variáveis pode demandar quantidade elevada de recursos e tempo na sua execução e implementação, conforme será descrito neste trabalho. Portanto, a adequada seleção técnica de tecnologias que melhorem o desempenho do veículo em consumo de combustível garante a qualidade e competitividade do produto no futuro.

O mercado automobilístico mundial é competitivo e com crescimento limitado. Os produtos com desempenho superior possuem um diferencial, possibilitando a manutenção do crescimento econômico da empresa e dos novos investimentos. Considerando os fatores expostos, este trabalho pretende abordar variáveis provenientes do *powertrain* e como referência às externas a este que afetam o consumo de combustível veicular. Através de pesquisa bibliográfica contendo várias iniciativas tecnológicas que buscaram otimização de consumo de combustível veicular e contando também com análise comparativa destas iniciativas com vários produtos em comercialização no Brasil, com um exemplo de produto existente que já incorpora várias destas tecnologias mencionadas pretende-se demonstrar um modelo capaz de orientar o grupo de engenharia no direcionamento do projeto de *powertrain*. A bibliografia selecionada para suportar este trabalho de curso é apenas parte de amostra disponível, mas reúne iniciativas tecnológicas com o objetivo de minimizar o consumo de combustível veicular. A literatura existente sobre motores de combustão interna, suas variáveis e em particular sobre combustível é vasta e inclui centenas de livros e milhares de trabalhos técnicos.

1.1 REAÇÃO DO MERCADO AUTOMOTIVO

A indústria automobilística brasileira produziu no ano de 2001 segundo a ANFAVEA [39], 1.628.061 de veículos movidos a motores ciclo Otto (gasolina e álcool hidratado) destinados ao mercado local e de exportação.

* *Powertrain* - termo utilizado internacionalmente para designar o conjunto motor à combustão interna e a transmissão; literalmente significa "trem de força".

Considerando o grande número de montadoras existentes no Brasil e a diversidade de modelos de veículos oferecidos, ainda com o crescimento do mercado limitado à situação econômica brasileira, resultando em grande competição. Existem ainda os veículos provenientes do mercado externo, que no ano de 2001 representaram a entrada de 170.270 unidades com motorização do ciclo Otto e Diesel, segundo a ABEIVA [40].

A diversidade de modelos existentes permite a comparação pelos meios de comunicação que possuem papel como formadores de opinião junto aos leitores e potenciais consumidores de veículos. Os consumidores através dos meios de comunicação e do contato com o produto, motivados por vantagens financeiras oferecidas pelos fabricantes ou por sua análise pessoal subjetiva sobre o veículo, podem desencadear reação no mercado que resulta em desempenho de vendas maior ou menor de determinado produto.

Mesmo considerando que eventualmente os meios de comunicação e os consumidores podem estar fazendo julgamentos técnicos incorretos sobre determinado veículo e estes julgamentos influenciarem negativamente a imagem e a resultante comercialização deste produto, no mínimo existem sinais de que características do produto (veículo) devam ser revisadas ou esclarecimentos técnicos adicionais devam ser formulados e apresentados ao público mantendo a aceitação do produto e o relacionamento com os clientes dentro de níveis adequados e desejáveis.

O requisito do consumidor quanto à melhora do consumo veicular tem se intensificado assim como a demanda de energia dos veículos automotores modernos. Quando um veículo apresenta consumo de combustível elevado, é dito que o motor em questão "consome muito" e neste ponto é iniciada discussão em torno dos fatores veiculares que atuam contra a economia de combustível e do fato de que o motor, para atender a demanda de energia crescente requer mais combustível.

A demanda de energia advém da maior massa veicular aliada também ao maior número de itens de conveniência existentes. Estes itens de conveniência contribuem com o aumento do consumo veicular direta ou indiretamente, como será abordado posteriormente.

Esta discussão resulta no maior empenho dos grupos de desenvolvimento de sistemas veiculares que direta ou indiretamente afetam o consumo de combustível,

assim como dos projetistas de *powertrain* selecionando a melhor combinação de motor e transmissão que em detrimento das perdas ou fatores que agem contra o melhor consumo, definirão um conjunto que conviva com as limitações ou deficiências veiculares.

1.2 DESCRIÇÃO DO TRABALHO

Como será apresentado, o consumo de combustível veicular é o resultado da interação de variáveis diversas, previsíveis até determinado nível (variáveis do motor) e não previsíveis (variáveis resultantes do tipo de uso do veículo). Considerando que é fundamental conhecer esta problemática será abordado inicialmente quais são as variáveis distribuídas da seguinte forma: variáveis externas e internas ao *powertrain*.

A definição destas variáveis associadas a iniciativas no sentido de melhorar o desempenho em consumo veicular pode ser considerado como sendo os insumos básicos para o entendimento da problemática do consumo de combustível veicular.

As tecnologias que permitem minimizar os efeitos contrários ao melhor consumo de combustível veicular estão disponíveis nos grandes centros de desenvolvimento automotivo, nos fornecedores de sistemas veiculares, nos centros acadêmicos que se dedicam à pesquisa na área automotiva e já em produtos em comercialização.

Portanto, muitas das respostas para solucionar o problema de consumo de combustível elevado já são conhecidas, contudo a escolha das ferramentas ou tecnologias que se enquadrem nas necessidades do produto e do respectivo fabricante é tarefa complexa, pois um ganho de desempenho superior pode requerer sistemas de *powertrain* que exijam profundas alterações na arquitetura do motor e transmissão e com reflexos na plataforma veicular. Conseqüentemente, poderá demandar tempo e recursos para sua execução nem sempre disponíveis.

Definir qual arquitetura de *powertrain* resultará no melhor consumo de combustível veicular e conhecer o impacto desta na empresa, considerando que deva oferecer flexibilidade para permitir o sucessivo incremento quando requerido de

novas tecnologias sem utilizar recursos elevados e ainda oferecer ganhos de desempenho que mantenham o veículo em patamar competitivo e bem aceito pelos clientes é o objetivo deste trabalho.

2 REAÇÃO DENTRO DO FABRICANTE - COMUNICAÇÃO

Quando os meios de comunicação ou a rede de pós-vendas de determinado fabricante de veículo informam que o veículo "X" possui desempenho marginal ou ruim em consumo de combustível, várias considerações são efetuadas para compreender esta informação.

Neste instante podem surgir considerações do tipo:

- Qual é o desempenho real do meu produto (ref. produto "X") ?
- Qual é o desempenho real da concorrência ?
- O produto "X" é realmente inferior aos concorrentes ?
- Se o produto "X" não é inferior aos demais, o que leva os meios de comunicação e os clientes a afirmarem que o produto possui desempenho marginal ?

Estas perguntas não são fáceis de serem respondidas conclusivamente, mas elas direcionam a análise em dois caminhos: no da percepção subjetiva e no da falha na comunicação (FnC).

A percepção subjetiva acontece quando o cliente ou os meios de comunicação são induzidos a falsa interpretação, como por exemplo: "... fui com muita frequência ao posto de abastecimento e acho que o veículo esta gastando muito". Esta afirmação não é tecnicamente conclusiva para afirmar que o veículo possui consumo elevado, pois a ida com maior frequência aos postos de abastecimento pode ser decorrente :

- do veículo possuir reservatório de combustível com capacidade menor que o veículo referência existente na memória do cliente, onde este correlaciona o resultado atual com alto consumo ou
- de situações adversas de tráfego [24] e condução do veículo, tais como tráfego constantemente congestionado caracterizado por "anda-e-para" e longos períodos do motor em rotação de marcha-lenta ou por condução agressiva do veículo.

A FnC pode ocorrer tanto no campo como dentro do fabricante durante as etapas do projeto, entretanto as análises a seguir serão direcionadas às eventuais falhas dentro do fabricante em atendimento aos objetivos deste trabalho de curso.

Segundo Massarani [13], as FnC podem ser agrupadas das seguintes formas:

- omissão de características,

- omissão de agentes,
- omissão de referências,
- omissão de processos,
- generalização simples,
- regras e
- obrigações.

Se formos considerar as formas acima dentro do processo de definição de objetivos de engenharia no início de um novo projeto ou de análise de problema temos:

- Omissão de características – a omissão de características ou a excessiva generalização de um assunto em discussão, levam a interpretações pessoais ou melhor dizendo, complementações pessoais.

Exemplo: “Vamos melhorar o consumo de combustível deste veículo!”

Qual especificamente é o consumo adequado a este veículo ?

Quais condições de uso levam a crer que o consumo deste veículo precisa ser melhorado ?

- Omissão de agentes – em uma descrição precisa-se ter o cuidado de deixar explícito o agente, novamente evitando complementações pessoais, algumas vezes fora do contexto.

Exemplo: “Estamos melhores do que a concorrência!”

Especificamente, quais concorrentes são inferiores a nós ?

- Omissão de referências – em uma descrição precisa-se ter o cuidado de demonstrar claramente a referência da comparação, evitando complementações pessoais.

Exemplo: “Precisamos de mais *low-end-torque*”*.

Quanto e a partir de qual rotação exatamente ?

Do que exatamente o campo reclama ?

* *Low-end torque* - torque do motor disponível a rotações intermediárias a rotação de marcha-a-lenta e de torque máximo.

- Omissão de processos – na formulação não se pode excluir o processo.
Exemplo: “Já tentamos no passado resolver o problema através do escalonamento de marchas sem sucesso.”
Como você conclui que o escalonamento de marchas não resolve no contexto atual ?
- Generalização simples – deve ser evitada.
Exemplo: “Vamos alongar as relações de marcha porque sempre funciona.”
Em um variado universo de curvas de desempenho, sempre alongando obtemos o melhor compromisso ?
- Regras – regras estabelecidas dentro de determinado contexto, não permaneceram válidas em outras situações.
Exemplo: “É necessário sempre buscar *cost reduction* (redução de custo) no projeto.”
Existem situações em que reduzir não é conveniente ?
- Obrigações – todas obrigações devem ter “causas”.
Exemplo: “Não posso mudar o tempo de desenvolvimento desta atividade.”
O que exatamente o impede de alterar o tempo de desenvolvimento desta atividade?

2.1 PRODUTO SITUADO NO MERCADO

Para iniciar um novo projeto e também para entender uma reclamação proveniente do "campo" (dos clientes) é necessário primeiro ter o próprio produto precisamente situado no mercado.

Partindo do princípio de que toda análise precisa ter base de dados como referência, ter um produto situado no mercado significa ter pleno conhecimento de seu desempenho e de suas variáveis isoladamente, assim da mesma forma possuir o mesmo nível de conhecimento dos produtos concorrentes.

Em uma primeira análise do produto “veículo” e suas variáveis que atuam no consumo de combustível, pode ser distinguido: o motor e a transmissão como sendo o *powertrain* gerador e transmissor de torque, o restante do veículo e o meio em que o veículo convive conforme ilustrado na Figura 01.

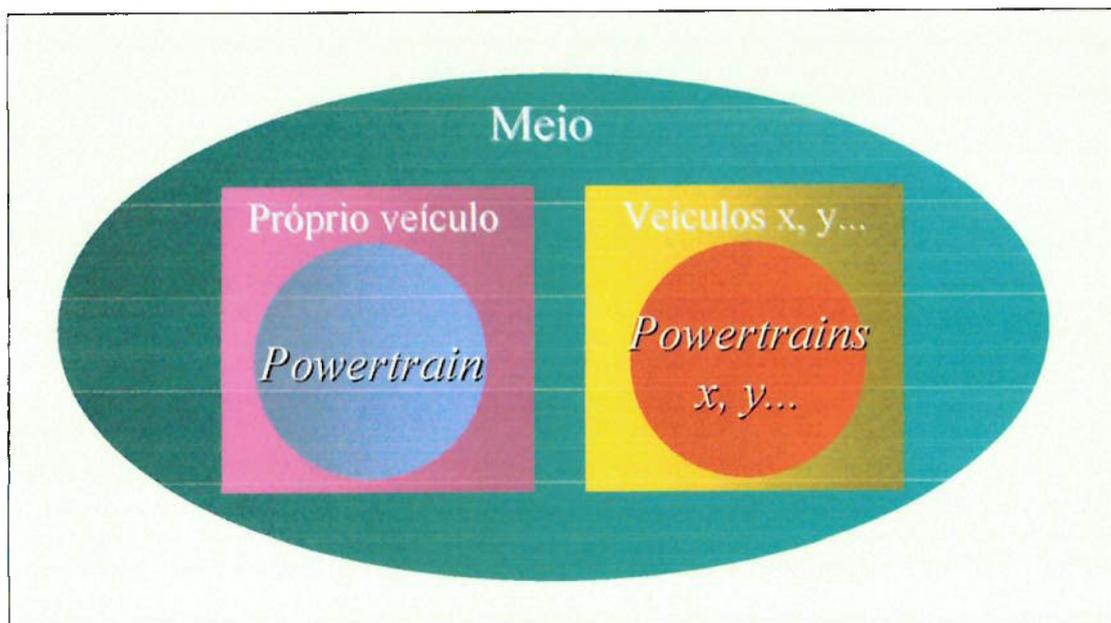


Figura 01 - Relação: meio x veículo x concorrente

Tomando por base inicial estes três pontos, temos que conhecer seu conteúdo e suas inter-relações para estudar as mensurações cabíveis:

I. Meio [38]

O meio é comum a todos produtos e pode ser compreendido como sendo as condições e agentes de interface com o conjunto veículo, como por exemplo: vias de rodagem, condições de tráfego, condições atmosféricas e geográficas, combustível e o condutor. As variáveis provenientes do meio não podem ser controladas e devem ser administradas por um projeto robusto e serão parte importante dos critérios de avaliação do projeto.

II. Veículo automotor

O veículo automotor possui variáveis distintas em função de sua interface com o meio e com o *powertrain*:

- interfaces do veículo com o meio: a carroceria possui interface com a massa de ar frontal e ventos laterais, os pneus possuem interface com o solo e com a massa de ar frontal, as reações dinâmicas do conjunto chassi e suspensão reagindo as condições de aceleração impostas pelo *powertrain* e pelo tipo de piso e o condutor impondo seu modo de conduzir o veículo,
- interfaces do veículo com o *powertrain*: é sentida nos efeitos de suas características de projeto, ou seja, todas as resistências oriundas da massa veicular, da área frontal, da inércia de rotação de componentes na linha de transmissão de torque e do tipo de uso do condutor são transmitidas na forma de necessidade ao *powertrain*.

III. Powertrain

A interface do *powertrain* com o meio e com o veículo é variada e sua resultante será o suprimento de energia em função da demanda solicitada, baseado na sua calibração mecânica, aerodinâmica, química, elétrica e eletrônica.

IV. Veículo e *powertrain* concorrente

O veículo e *powertrain* concorrente convivem no mesmo ambiente, mas sua inter-relação com o meio poderá variar em decorrência do atendimento aos requisitos de projeto específicos de cada fabricante.

2.2 MENSURAÇÕES PARA SITUAR O PRODUTO

Considerando as interfaces do veículo com o meio e com o *powertrain*, identificam-se quatro regiões de mensurações e sugestão de métodos de análise:

I. Mensuração de desempenho do *powertrain* isoladamente

Com o objetivo de mensurar os parâmetros de performance do *powertrain* e para criar uma base de dados, é sugerido:

- Método IA – ensaio em dinamômetro de bancada para identificar a energia necessária para compensar as perdas devidas ao atrito e bombeamento do motor e
- Método IB - ensaio em dinamômetro de bancada para identificar o consumo específico.

II. Mensuração de desempenho do veículo isoladamente

Com o objetivo de mensurar os parâmetros de desempenho do veículo e para criar uma base de dados, é sugerido:

- Método IIA – ensaio de desaceleração tipo *Coast-down**, identificando as perdas aerodinâmicas, de rolamento e inerciais do veículo.

III. Mensuração do desempenho resultante do veículo e *powertrain*

Com o objetivo de mensurar os parâmetros de desempenho do conjunto *powertrain* e veículo e para criar uma base de dados, é sugerido:

- Método IIIA – ensaio em dinamômetro de bancada medindo a potência média utilizada para acionar os acessórios que demandam energia (compressor de ar-condicionado, bomba hidráulica do sistema de direção servo-assistida, alternador e ventoinha mecânica de refrigeração) se existentes e
- Método IIIB – ensaio de consumo veicular que requer estudo para definição de procedimento de análise. As montadoras efetuam vários tipos de mensurações, desde medição de consumo durante o ciclo de emissões FTP-75 [28] representando um ciclo urbano e rodoviário e procedimentos em rotas externas à fábrica em vias públicas normais.

IV. Meio ou base de análise

Meio ou base de análise requer a definição da área de abrangência que represente os fatores provenientes do meio, dos fatores atmosféricos e geográficos, da variação de combustível e dos consumidores (condições de uso e fator de carga sugerido por Taylor [21] carga média/hora), é sugerido:

* *Coast-down* - ensaio veicular com a finalidade de medir a desaceleração do veículo em função das perdas aerodinâmicas, inerciais e de rolamento.

- Método IVA – avaliar a incidência percentual das variáveis do meio versus o fator de carga médio. Esta base permite conhecer as condições extremas do meio e a condição de maior exposição do veículo nos mercados a que se destina.

Definir quais mensurações devam ser aplicadas é tarefa complexa e requer profundo conhecimento das variáveis do projeto do veículo e do *powertrain*. As mensurações podem também serem dirigidas e convergir para uma delimitação de variáveis consideradas como sendo as passíveis de controle (ref. I-Meio página 08). A Figura 02 ilustra as referências básicas do produto.

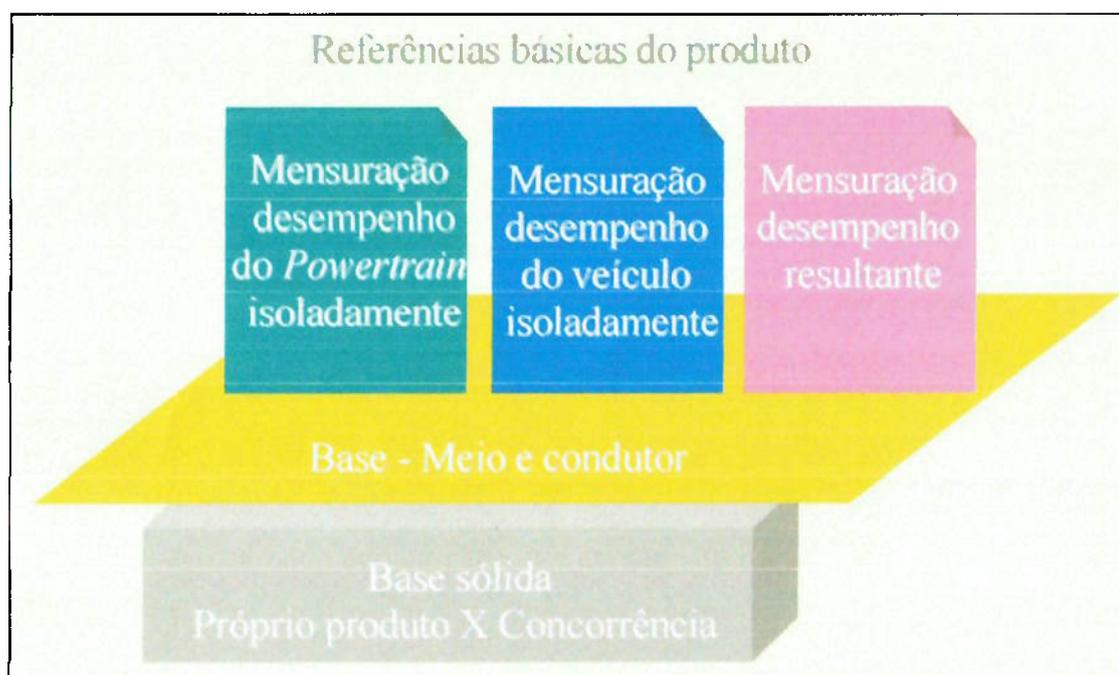


Figura 02 - Referências básicas do produto

Uma medição complexa portanto, é o consumo de combustível veicular. Como citado, os fabricantes efetuam suas mensurações durante o ciclo de emissões FTP-75 [28] através do balanço de carbono e também trafegando com o veículo em rotas externas ao fabricante em condições de trânsito encontrado nas vias de rodagem brasileiras ou de mercados de exportação. É compreensível que estas medições possam não cobrir todas condições reais de uso.

Os meios de comunicação especializados em automobilismo seguem procedimentos próprios, conduzindo os veículos alternadamente em rotas urbanas e rodoviárias. Portanto, não existe uma base única de avaliação. Estes meios, por não possuírem a facilidade da célula de emissões, sempre estarão a margem dos procedimentos adotados pelos fabricantes. Neste caso chegam ao conhecimento do cliente informações vindas de fontes e bases distintas, com poder de confundir o cliente, conforme ilustrado na Figura 03.

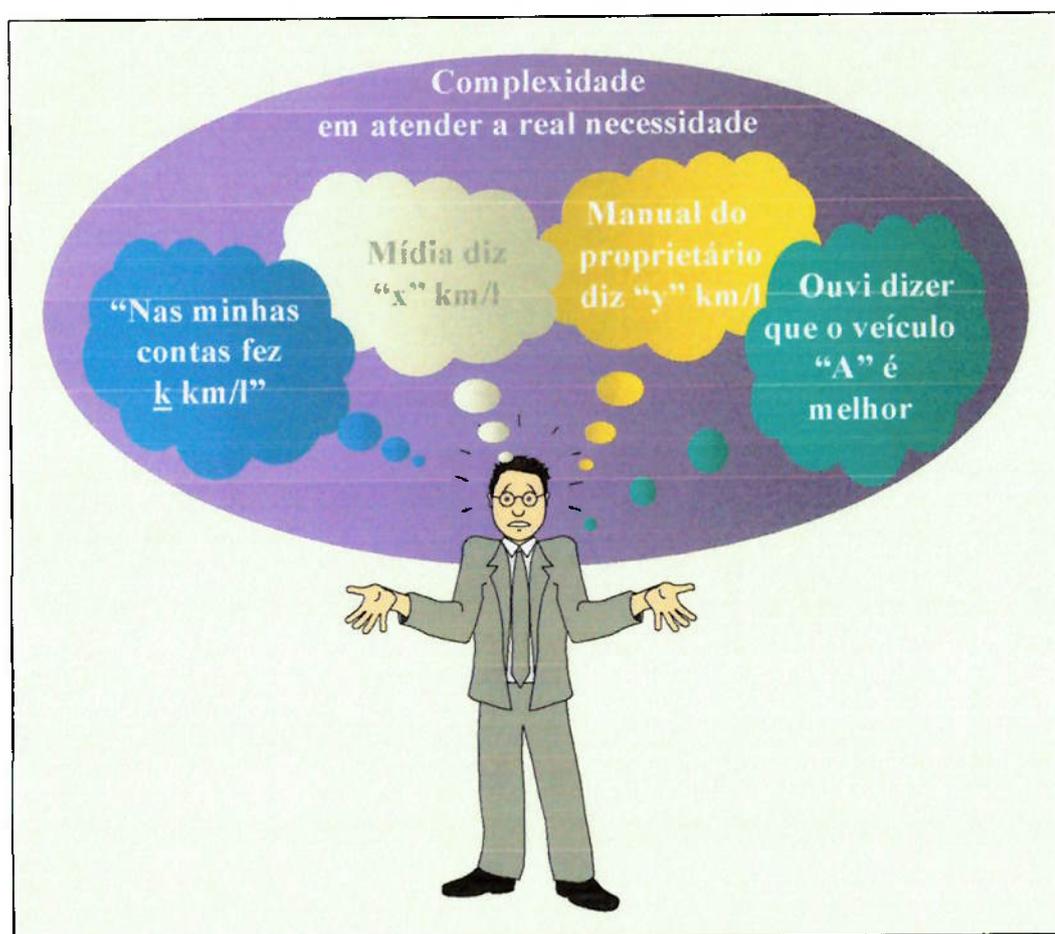


Figura 03 - Conflito de informações – bases distintas

Taylor [22] sugere que todo fabricante deve descobrir qual o “fator de uso” (carga média despendida/hora) de seu produto. O conhecimento de um fator de uso permitirá aos fabricantes calibrarem seu conjunto *powertrain* para atender a maior

área do gráfico da Figura 04 com potencial de satisfazer as necessidades da maior parte dos clientes.

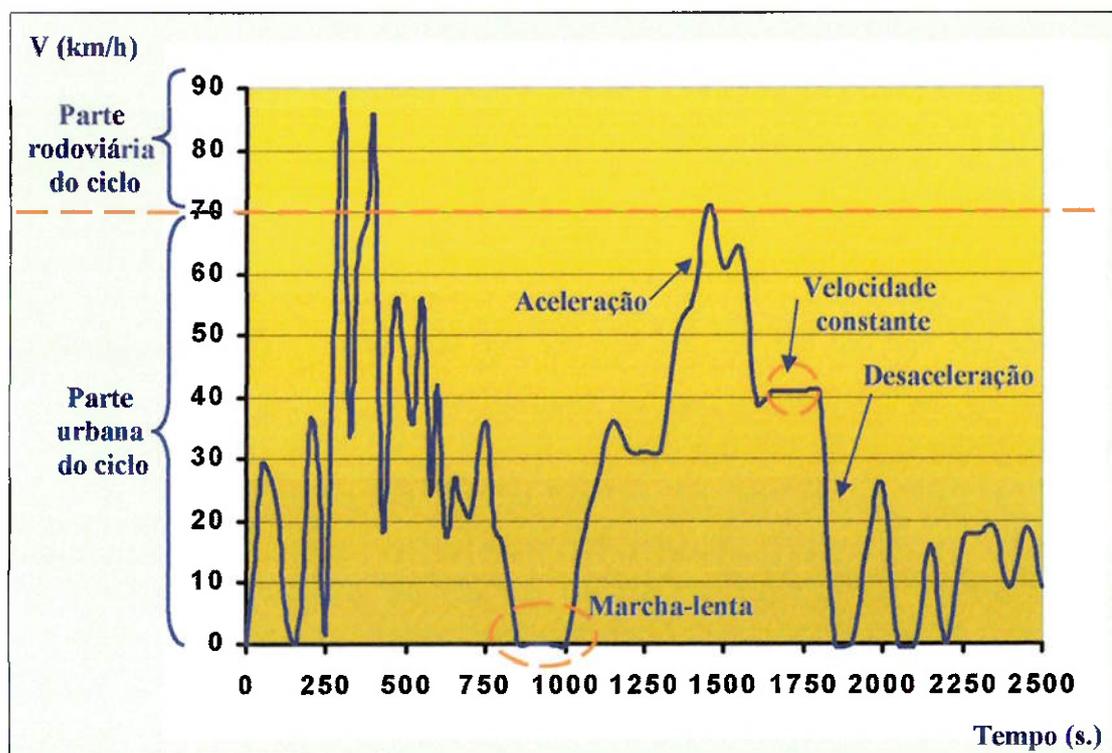


Figura 04 - Ciclo urbano/rodoviário - velocidade variando com o tempo

Para exemplificar o fator de uso sugerido por Taylor [22], a Figura 04 demonstra um ciclo de condução "qualquer", demonstrando a velocidade do veículo variando com o tempo. Neste ciclo pode ser identificado períodos de aceleração, desaceleração, de velocidade constante e períodos onde o veículo permanece parado, totalizando um ciclo de uso de 2500 segundos ou aproximadamente 41 minutos que poderia ser o ciclo de uso de determinado usuário. Analisando o fator de uso sugerido, a carga média para ter representatividade deveria considerar as variáveis do meio já citadas, geográficas, atmosféricas, combustível e condutor.

Considerando o mercado brasileiro com sua diversidade continental e cultural, deveria ser mensurado o uso do veículo nas várias condições de tráfego, de regiões e considerando os vários tipos de condutores (tranqüilos, agressivos, bons e ruins motoristas).

A sugestão de Taylor resume de uma forma simples, mas que precisaria de uma adequada pesquisa e equacionamento das variáveis envolvidas, para a definição do peso individual das mesmas e da inter-relação destas o que merece um trabalho a parte.

Concluindo, ações devem ser tomadas no sentido de criar uma base de dados que retrate o meio, o veículo, o *powertrain* e a resultante da *interface* de todos estes elementos. Uma estrutura que execute este trabalho de base, deve ser considerada como o “sentinela” da engenharia de produto.

2.3 CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL

Consumo específico de combustível é o consumo apresentado exclusivamente pelo motor à combustão durante teste em dinamômetro de bancada. No Brasil, seguindo a norma NBR 10312* o motor é ensaiado com todos os seus periféricos ou sistemas de suporte montados, tais como o sistema completo de admissão de ar, de exaustão e o alternador. Durante o levantamento da curva de desempenho é medida a curva de consumo específico, ou seja, a curva que representa o consumo do motor na condição de plena carga estática (em rotações pré-determinadas) e com temperaturas de admissão e do fluido de refrigeração controladas.

Portanto, o consumo do motor nesta condição, é fruto da demanda de energia exigida para movimentar as partes móveis do motor, vencer os atritos internos e perdas de energia por bombeamento no regime de esforço máximo ao qual o motor esta calibrado para executar, diferente dos esforços exigidos do motor quando instalado no veículo.

* NBR 10312 - Veículos rodoviários automotores leves - Determinação da resistência ao rolamento por aceleração livre em pista de rolamento de simulação no dinamômetro.

2.4 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL VEICULAR

O consumo de combustível veicular reflete a interação do motor à combustão com o veículo e o meio. O motor para movimentar o veículo recebe carga adicional de esforços inerciais provenientes do sistema de transmissão de força e dos fatores de influência provenientes do veículo.

O consumo de combustível não é regulamentado no Brasil, contudo o método de medição que será várias vezes citado neste trabalho de curso, será o ciclo FTP 75 [28] adotado no Brasil pelo CONAMA [54] que legisla sobre as regulamentações de emissão de poluentes no Brasil. O ciclo FTP 75 é um ciclo de condução transiente do veículo que simula condições de uso urbanas e rodoviárias.

Este método unifica os vários procedimentos existentes e serve como meio de comparação. Não pode ser comparado com o consumo obtido no uso real do veículo [35], contudo aproxima o resultado porque o método de ensaio foi baseado em um ciclo com períodos de condução urbana e rodoviário.

Considerando os sub-itens anteriores, 2.2 e 2.3, pode-se concluir que existe interligação entre os dois tipos de consumo de combustível e que podem ser descritos e comparados na Tabela 01.

Tabela 01 - Consumo específico X consumo veicular normalizados

	Consumo específico de combustível [10]	Consumo veicular
Conceito básico	Fruto da demanda de energia exigida para movimentar as partes móveis do motor, vencer os atritos internos e perdas de energia por bombeamento no regime de esforço máximo ao qual o motor está calibrado para executar.	Fruto da demanda exigida para movimentar as partes móveis do motor, vencer os atritos internos e perdas de energia por bombeamento acrescido dos esforços oriundos do veículo.
Metodologia	Teste em dinamômetro de bancada.	Teste em dinamômetro de rolo veicular.
Condição de medição	Motor a plena carga em rotações pré-definidas, temperaturas de admissão de ar e do motor controladas.	Motor submetido a ciclo transiente, a rotações e cargas variáveis, temperatura de admissão de ar afetada pelo meio (meio ambiente e veículo).

2.4.1 TESTE DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL VEICULAR

O teste de consumo de combustível veicular [28, 30] é parte integrante do teste de emissões, ou seja durante o teste de emissões são mensuradas as emissões gasosas do veículo bem como seu consumo de combustível. O teste pode ser resumido em duas partes: ciclo urbano e extra-urbano. Como o teste é contínuo, o resultado em termos de consumo pode ser entendido como sendo o consumo médio .

O teste possui duração pré-determinada conforme Tabela 02 abaixo.

Tabela 02 - Duração do teste FTP 75 [28]

Distância total percorrida	(km)	17,86
Duração do teste	(seg.)	1.877
Velocidade média	(km/h)	34,2
Velocidade máxima	(km/h)	91,2

O teste exige do veículo, acelerações e desacelerações por várias marchas, consequentemente condições de carga do motor diferenciadas e períodos em que o motor permanece em rotação de marcha-lenta simulando por exemplo trânsito congestionado. Um teste é iniciado com o veículo em estado frio (simulando a 1ª partida do dia do motor) e o outro em estado quente (simulando nova partida do motor logo após o 1º desligamento).

2.4.2 CICLO URBANO

O teste é realizado em laboratório climatizado (23°C), estando o veículo em repouso por 24 h, período em que o veículo por completo esteja à temperatura de equilíbrio com o ambiente laboratório. O veículo então é colocado em dinamômetro de rolo estando este calibrado com a inércia equivalente do veículo. O ciclo envolve desde a condição de partida, a períodos de acelerações, velocidade cruzeiro, desacelerações e marcha-a-lenta. Como diferencial entre o ciclo FTP e o ciclo real, no ciclo FTP não é considerado condutor [35] com baixa habilidade e respectivamente nível de fadiga e ansiedade que afetam o modo de conduzir o veículo e que resultam em consumo diferenciado.

2.4.3 CICLO EXTRA-URBANO

Esta etapa do ciclo é iniciada imediatamente após a conclusão da etapa do ciclo urbano, simulando o condutor que deixa a área urbana e inicia o trajeto por auto-pista. Este ciclo também envolve períodos de acelerações, desacelerações, velocidades cruzeiros, terminando em período de marcha-lenta.

Esta parte do ciclo de teste retrata o uso do veículo em estrada e serve de referência ao fabricante. Utilizando a mesma consideração do sub-item anterior [35], no ciclo FTP não é considerado condutor com baixa habilidade e respectivamente nível de *stress* e ansiedade que afetam o modo de conduzir o veículo, tampouco a velocidade média mais elevada no ciclo real que pode atingir 120 km/h que é a velocidade máxima permitida nas grandes auto-pista brasileiras, enquanto no ciclo FTP não ultrapassa os 91,2 km/h.

3 DEFINIÇÃO DO REQUISITO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

O requisito de consumo de combustível pode ser proveniente de um novo mercado (como por exemplo um novo país), dos meios de comunicação, do cliente através da rede de pós-vendas do fabricante ou da menor resposta nas vendas.

A base de dados sugerida no capítulo 2.2, permite compreender:

- se a expectativa ruim do cliente é correta ou incorreta,
- se a expectativa do cliente advém da análise subjetiva do mesmo, e
- se a concorrência está oferecendo produto com desempenho superior ou inferior.

Esta análise resultará em três ações distintas:

- Quando a concorrência for superior e o produto não atender a expectativa do cliente. - Ação: o fabricante deve revisar o produto.
- Quando a concorrência for inferior, mas o produto ainda não receber boa avaliação do cliente. - Ação: o fabricante deve trabalhar a imagem do produto e analisar quais são as características dos concorrentes que induzem o cliente a formar imagem positiva.
- Quando a expectativa do cliente não é aplicável ao produto. - Ação: o fabricante deve orientar o cliente sobre o real potencial do veículo e qual produto se enquadraria nas suas necessidades. Exemplo: caso o cliente afirma-se que “meu veículo, um Abcde 1.0L aspirado, modelo 2002 não atinge os 180 km/l !”.

Concentrando esta análise na superioridade da concorrência e na falta de atendimento da expectativa do cliente, a análise recai em duas frentes: fatores que podemos chamar primeiramente de diretos e indiretos ao *powertrain*. Esta análise está centrada no *powertrain* porque o motor a combustão é o consumidor de energia que desagrada o cliente ou que coloca o veículo em desvantagem competitiva [34].

Independente do tipo de veículo ou nível tecnológico do mesmo, perfil e grau de instrução do condutor, qualidade do combustível ou se o veículo está sendo conduzido em uma moderna auto-estrada européia cujo pavimento, aclives e declives foram cuidadosamente estudados em benefício da segurança e desempenho veicular, ou se o veículo está sendo conduzido em uma precária estrada asiática, instantaneamente o motor está sendo solicitado a gerar energia motriz requerida pelo condutor, produto de várias interações [21, 22]:

- mecânicas,
- químicas,
- elétricas e eletrônicas,
- hidrodinâmicas,
- termodinâmicas e
- aerodinâmicas.

As interações acima citadas resultam na aceleração solicitada pelo condutor no dado instante, e sua forma de conduzir resultará na frequência de visitas aos locais de abastecimento.

Quando a necessidade de melhorar o consumo chega aos grupos de criação e considerando que o consumo de combustível veicular é decorrente da interação do *powertrain* com o veículo e o meio, abrem-se várias possibilidades ou frentes a serem abordadas. É possível abordar as variáveis externas ou internas ao *powertrain*, cabendo análise nas duas frentes comparativamente.

3.1 FATORES EXTERNOS AO *POWERTRAIN*

Fatores externos ao *powertrain* são os fatores provenientes da interação entre motor e transmissão com o restante do veículo e o meio. Estes fatores, que podemos chamar de fatores de convivência, precisam ser conhecidos assim como os novos objetivos (melhorias) para os mesmos, permitindo a evolução do produto e maior contribuição dos fatores alheios ao *powertrain* na direção do melhor consumo veicular.

Dentre os vários fatores [04, 06, 12], serão abordadas os seguintes para permitir o melhor entendimento deste trabalho de curso:

- massa veicular,
- área frontal veicular e resistência aerodinâmica,
- resistência ao rolamento dos pneus,
- resistência de inércia,
- acessórios de conveniência,
- emissão de poluentes,

- combustível e
- o meio.

3.1.1 MASSA VEICULAR

Existem vários fatores que adicionam massa aos veículos modernos conforme segue:

- Dimensão dos veículos - apesar de existirem vários segmentos de veículos automotores, iniciando nos sub-compactos, compactos, micro-vans, médios, grandes, vans, e etc., é difícil identificar muitas vezes a fronteira existente entre estas categorias. Os novos projetos veiculares tem apresentado carrocerias maiores dentro de uma mesma categoria veicular fruto do requisito de *marketing*, que representando a voz do cliente, pede para que os veículos ofereçam maior espaço interno para os ocupantes e bagagem.
- Legislação de segurança veicular - os governos solicitam dos fabricantes o atendimento a legislações de segurança veicular rigorosas [29, 53], tais como *crash-test** frontal, *crash-test off-set (3/4)***, *crash-test lateral****, *crash-test* frontal mensurando penetração de coluna de direção e ancoragens de cinto de segurança e assentos, todos com a finalidade de comprovar a capacidade de absorção de energia da estrutura do veículo a fim de preservar a vida de seus ocupantes.

* *Crash-test* - teste de impacto frontal do veículo contra barreira deformável,

** *Crash-test off-set 3/4* - teste de impacto frontal do veículo contra barreira deformável, onde somente 3/4 da frente do veículo colidem contra a barreira,

*** *Crash-test lateral* - veículo submetido a impacto lateral, onde é verificado a capacidade do veículo absorver impactos laterais.

- Projeto veicular nasce nas matrizes dos fabricantes - considerando que o projeto da maioria dos veículos nasce nas matrizes, como por exemplo na Europa, Estados Unidos ou Ásia que possuem legislação veicular mais rigorosa que a brasileira [53], conclui-se que os novos projetos que chegam a América do Sul já trazem o atendimento aos requisitos legais mais rigorosos referidos anteriormente, independente do fato de que a maioria destes requisitos não são solicitados com tamanha rigidez ainda na América do Sul. É necessário também considerar que alterar o projeto original eliminando o impacto destas exigências legais na carroceria e demais sistemas veiculares, com a finalidade de simplificar e aliviar o peso, duplica o trabalho de desenvolvimento que possui um custo elevado assim como o investimento em ferramental diferenciado nas fábricas. Consequentemente qualquer alteração exigirá novas validações estruturais que demandam programa extenso de validação e num mercado competitivo, elimina a vantagem tecnológica que pode ser explorada comercialmente.
- Maior rigidez da carroceria - devido aos veículos empregarem motores com maior rendimento que permitem ao veículo capacidade de trafegar em maior velocidade, os fabricantes tem procurado aumentar a rigidez. Esta tem como objetivo preservar a integridade estrutural do veículo e permitir que as reações dinâmicas do mesmo ocorram dentro do previsto.
- Acessórios de conveniência [41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50] - estes acessórios antes somente disponíveis nos veículos de categoria superior, acessórios como vidros e travas elétricas, direção servo-assistida e ar-condicionado, hoje podem ser encontrados também nos veículos médios e populares. Portanto o conforto tem literalmente um peso no consumo de combustível.

Determinados acessórios acabam sendo mandatários na visão do cliente como por exemplo:

- o sistema de vidros e travas elétricos são encarados como itens que agregam segurança aos passageiros devido a rapidez com que se fecham as portas e janelas, mas que agregam peso ao veículo e aumentam a demanda de energia,
- o sistema de direção servo-assistida devido aos veículos estarem mais pesados e contarem com pneus de maiores dimensões, agregam peso e aumentam a demanda de energia e

- o sistema de ar-condicionado que não é encarado somente pelo conforto oferecido nos dias mais quentes, mas também porque permite trafegar com as janelas fechadas por motivos de segurança.

Concluindo, os fatores sociais, além dos puramente de conforto e desejo de *status*, carregam os veículos modernos de acessórios que extraem determinada quantidade de energia do motor à combustão interna. Estes mesmos acessórios também adicionam peso aos veículos.

Quando se adicionam os fatores acima, verifica-se que mesmo aliando alta tecnologia no dimensionamento estrutural, nos processos de fabricação e no emprego de materiais que ofereçam capacidade mecânica e baixo peso, se considerado os recentes veículos lançados no mercado, pode se verificar que os veículos estão mais pesados e isto influencia no desempenho com relação a consumo.

3.1.2 ÁREA FRONTAL E PENETRAÇÃO AERODINÂMICA

Conforme mencionado anteriormente, os veículos tem crescido no tamanho visando oferecer conforto e *status*, o que resulta também em maior área frontal veicular. Neste sentido a indústria tem trabalhado na eficiência aerodinâmica dos veículos com a finalidade de:

- melhorar o perfil externo da carroceria para que mesmo com uma área frontal maior, ainda ofereça resistência aerodinâmica menor compatível com a motorização do veículo e o desempenho esperado, e
- trabalhar o fluxo interno de ar no compartimento do motor e dos passageiros.

Considerando o mesmo raciocínio aplicado à análise da massa veicular (ref. sub-item 3.1.1), sendo os projetos veiculares oriundos da Europa, Estados Unidos e Ásia, os mesmo já contemplam carrocerias muito desenvolvidas em termos de veículos de produção em massa. Se for considerado que a resistência aerodinâmica envolve no seu equacionamento [12] o produto da área frontal projetada pelo coeficiente de arraste aerodinâmico (função da forma), existe a suspeita (não comprovada neste trabalho por falta de elementos) de que este produto não tenha

como resultante a menor resistência aerodinâmica, pois o coeficiente tem diminuído, mas a área frontal está maior [44, 55].

3.1.3 RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO

A resistência ao rolamento veicular pode ser expressa pela somatória das resistências oferecida pelas rodas dianteiras e traseiras [12]:

$$R_r = R_{rd} + R_{rt}$$

, onde: R_{rd} = resistência oferecida pelas rodas dianteiras, e
 R_{rt} = resistência oferecida pelas rodas traseiras.

A resistência ao rolamento [12] em si, é expressa por:

$$R_r = P \cdot f$$

, onde: P = peso, e

f = coeficiente de resistência ao rolamento que é função do projeto e do tipo de construção do pneu, da pressão de inflação, do tipo de piso e da velocidade.

Ponderando as variáveis da resistência ao rolamento:

- considerando "f" como função do projeto e do tipo de construção do pneu, da pressão de inflação, do tipo de piso em que o veículo trafega e da velocidade, é possível identificar oportunidades de melhora no consumo de combustível veicular trabalhando no desenvolvimento do projeto dos pneus e definindo a pressão de inflação adequada, pois as demais variáveis, como tipo de piso e velocidade estão fora do controle do fabricante do veículo ou do pneu pois são as variáveis do meio e
- considerando o exposto nos sub-ítem anteriores (3.1.1, 3.1.2) e os dados técnicos divulgados pelos fabricantes, conclui-se que o peso veicular tem crescido.

3.1.4 RESISTÊNCIA DE INÉRCIA

A resistência de inércia [12] é a resultante da soma de todas inércias de rotação dos componentes rotativos, estejam estes mecanicamente acoplados ao *powertrain* ou não. Dentre todos, existem os componentes que agregam inércia e transmitem torque às rodas e os que agregam inércia, mas não transmitem torque conforme detalhado na Tabela 03.

Pode-se considerar que enquanto a arquitetura de transmissão de torque do motor à combustão às rodas trativas for mantida como hoje é conhecido, sempre existirá energia motriz sendo absorvida por componentes não transmissores de torque. Contudo, deve-se sempre buscar no projeto destes componentes o alívio de suas inércias, em particular dos componentes não transmissores de torque que existem para finalidades específicas e que também consomem energia.

Na maioria dos veículos em comercialização no mercado brasileiro [39, 40], o sistema de tração dianteira (motor, transmissão e eixo trator localizados na dianteira) é predominante e este sistema segundo Madureira [12] é mais eficiente do que a disposição motor e transmissão dianteiros e tração traseira encontrada nas *pick-ups* médias e veículos de maior capacidade de carga.

Tabela 03 - Comparativo de componentes transmissores de torque e não transmissores em um veículo com motor dianteiro e tração traseira

Componentes transmissores de Torque	Componentes não transmissores de Torque
Conjunto pistão, pino e biela	Cremalheira do volante
Virabrequim	Disco de freio dianteiro e tambor de freio traseiro
Volante do motor	Rolamentos da transmissão, diferencial e eixo-trator
Conjunto platô e disco de embreagem	Cubos de rodas dianteiros
Eixo de entrada da transmissão e engrenagens	Conjunto roda e pneu dianteiro
Eixo de saída da transmissão e engrenagens	Alternador
Eixo-cardan e juntas universais	Bomba do sistema de direção hidráulica
Conj. coroa e pinhão e sistema diferencial	Compressor do ar-condicionado
Semi-eixos	Ventoinha de refrigeração com acionamento mecânico
Cubos de rodas traseiros	Bomba de óleo de lubrificação do motor
Conjunto roda e pneu traseiro	Bomba de água
	Correias do sistema de acionamento dos acessórios

3.1.5 ACESSÓRIOS DE CONVENIÊNCIA E SISTEMAS DE APOIO

Os acessórios de conveniência e sistemas de apoio também adicionam massa e aumentam a demanda de energia de forma direta e indireta dos veículos. Os acessórios que demandam energia indiretamente são os elétricos e eletrônicos, cuja energia despendida do acumulador é repostada pelo alternador acionado pelo motor à combustão normalmente através de correia.

Como referência, alguns dos acessórios mais comuns que aumentam a demanda de energia indiretamente são:

- o sistema de acionamento elétrico de vidros e travas de portas,

- o desembaçador do vidro traseiro,
- o sistema limpador e lavador do pára-brisa,
- o sistema de ventilação interna,
- a ventoinha elétrica adicional do sistema de ar-condicionado,
- a ventoinha elétrica do sistema de refrigeração e
- o sistema de iluminação veicular.

Alguns dos sistemas de apoio mais comuns são os diversos módulos eletrônicos presentes nos veículos, tais como os módulos:

- de gerenciamento do motor,
- de gerenciamento do sistema de freios ABS,
- de gerenciamento do sistema de ar-condicionado,
- de controle da lógica de funcionamento dos vidros elétricos,
- de controle das posições de regulagem dos bancos,
- de alarme e
- do sistema *airbag* e pretencionares dos cintos de segurança.

Como resultante aos inúmeros sistemas consumidores de energia citados, ainda existe o motor de partida do motor à combustão, que possui grande potência devido principalmente a maior relação de compressão dos motores a ciclo Otto atuais e o acumulador de grande capacidade devido aos inúmeros acessórios e sistemas de suporte.

Os sistemas que solicitam energia diretamente do *powertrain*, são o compressor do sistema de ar-condicionado, a bomba hidráulica do sistema de direção servo-assistida e a ventoinha de refrigeração de acionamento mecânico. Estes sistemas quando existentes, estão montados no sistema de acessórios do motor acionados normalmente por correia (*accessory-drive system*) e quando em operação retiram energia mecânica diretamente do virabrequim.

Portanto a demanda de energia descrita, precisa ser considerada no dimensionamento do conjunto *powertrain*, pois o mercado e o próprio produto solicitam os referidos acessórios e sistemas de apoio. A Figura 05 ilustra os sistemas absorvedores de energia motriz direta e indireta do motor à combustão.

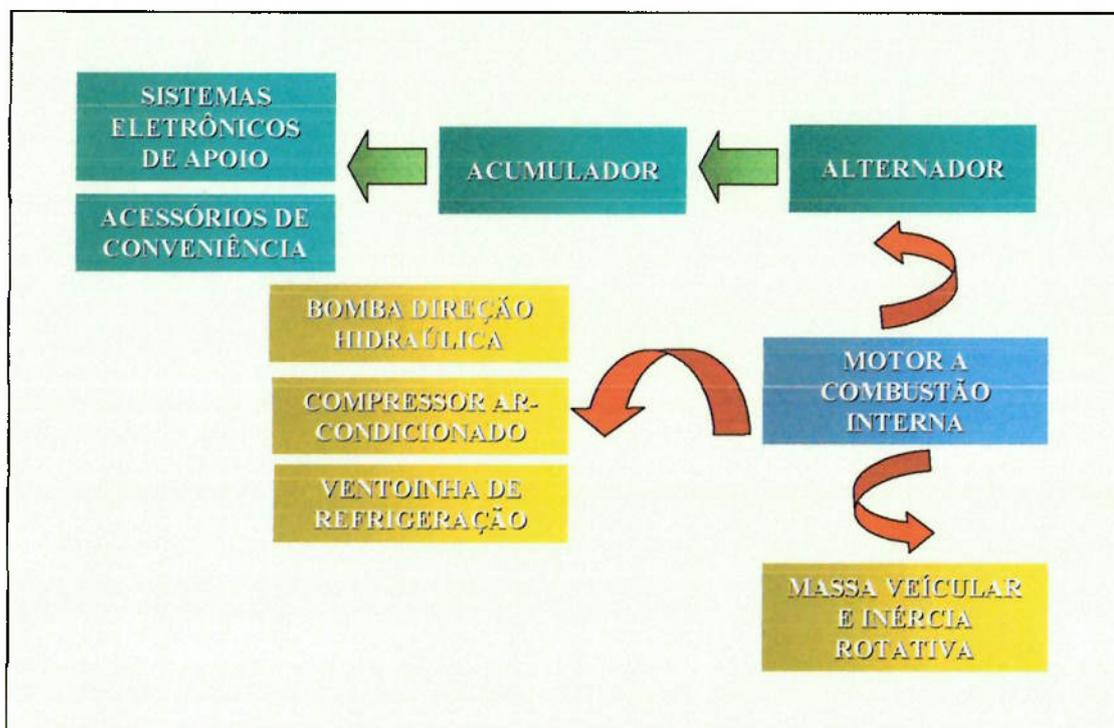


Figura 05 - Ciclo de consumo de energia direta e indireta

3.1.6 EMISSÃO DE POLUENTES

As emissões de poluentes são consideradas como decorrentes de fatores externos ao *powertrain*, pois apesar da maior parte dos poluentes serem emitidos pelo motor à combustão como veremos a seguir, as emissões são produto da interação do *powertrain* com o veículo.

Os países desenvolvidos e em desenvolvimento [29, 30], preocupados com o crescente número de veículos movidos a motores à combustão interna e o conseqüente aumento das emissões gasosas comprovadamente nocivas ao homem e ao meio ambiente [51, 52], definiram metodologias para ensaio de um veículo movido por motor a combustão interna ciclo Otto. O que inclui os equipamentos de medição para quantificar os resultados e a partir de então os limites de emissões de poluentes. Partindo do princípio que os efeitos nocivos das emissões ocorrem com maior intensidade nas metrópoles devido a maior concentração de veículos e pessoas, e eventualmente também devido a menor dispersão dos gases poluentes, os

legisladores em âmbito mundial definiram ciclos de teste de emissões que tem por objetivo se aproximar do uso real diário da maioria dos motoristas.

A padronização [28] de um ciclo de condução, bem como as variáveis atmosféricas e químicas foram necessárias para criar uma base única de referência para todos veículos. No mundo real existem outros fatores como estilo de condução do veículo, temperatura e pressão ambiente, condições geográficas que afetam o desempenho e fogem do padrão criado. Contudo, quando todos os veículos, independente do mercado a que se destinam, são testados de acordo com uma mesma base é possível comparar os resultados e exigir que os fabricantes desenvolvam tecnologias que permitam atender aos limites propostos e poluir menos.

Estes fatores são importantes, pois nivelam o desafio a ser enfrentado pelos projetistas mas que não podem ser comparados com os números de consumo alcançados no uso prático que não considera as mesmas variáveis e ambientes controlados. Com relação aos poluentes emitidos pelos veículos [28] e seu efeito no ser humano, estes são fator de opção de compra nos países de primeiro mundo, onde os resultados oficiais de emissão de poluentes são divulgados ao público, pois os consumidores possuem consciência ecológica.

No Brasil, os veículos do ciclo Otto seguem a metodologia americana de emissões [54], mas defasada. Atualmente está em vigor no Brasil desde janeiro de 1997 a fase CONAMA III, que prescreve limites US83 [54] segundo procedimento de teste ciclo FTP 75. Como a evolução é contínua, está previsto para janeiro de 2005 que 40% da produção de veículos com motores a ciclo Otto, atendam ao limite US94 Tier I segundo procedimento de teste ciclo FTP 75. Na Tabela 04 encontra-se comparativo entre os limites de emissão de poluentes atuais e os futuros. Como o consumo de combustível é mensurado durante o ciclo FTP 75 e considerando que os fabricantes de veículos e motores deverão adequar seus produtos às novas leis de emissão de poluentes e os valores de consumo de combustível conhecido serão alterados.

É desconhecido com precisão qual será o impacto no consumo de combustível, quando forem aplicados os ajustes no motor a combustão e seus sistemas de suporte para o atendimento às novas leis de emissões de poluentes no Brasil. Contudo existe referência deste impacto nos Estados Unidos, no relatório

EPA 420-R-008 [33] que relata quais foram as tecnologias empregadas nos veículos americanos entre os anos de 1975 à 2001. Considerando as alterações que ocorreram neste período na legislação de emissões americana [28], pode ser constatado que o consumo de combustível dos veículos piorou a medida que as leis de emissões foram ficando mais rigorosas.

Tabela 04 – Comparativo dos atuais limites de emissões e futuros [54]

Categoria veicular	Implementação	Nível	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	CHO TOTAL (g/km)	Evaporative (g/teste)
Massa de teste < 1.700 kg	jan/97	US 83	2,0	0,3	0,6	0,0	6,0
	jan/05	US 94	2,0	0,3	0,3	0,0	2,0

3.1.7 COMBUSTÍVEL BRASILEIRO – GASOLINA COM ADIÇÃO DE ÁLCOOL E VARIÇÃO DA ESPECIFICAÇÃO

O Brasil possui a particularidade de adicionar álcool-anidro à gasolina como aditivo anti-detonante em substituição ao chumbo-tetraetila. O teor de álcool na gasolina tem variado desde sua implantação em função da política ambiental ou econômica do governo brasileiro, ou seja, visando redução das emissões de poluentes ou consumir excesso da produção de álcool. Hoje está em vigor a adição de 20 a 25% (+- 1%) de álcool anidro à gasolina (medida provisória de 24 de abril de 2002). Considerando o percentual máximo de 25%, conclui-se que 1/4 do tanque de combustível dos veículos à gasolina brasileiros contém álcool.

A adição de álcool afeta principalmente as seguintes características [22] da gasolina e do funcionamento do motor:

- volatilidade - o álcool por ser mais volátil do que a gasolina, induz a gasolina a evaporar à menor temperatura. Esta maior volatilidade afeta o desempenho geral, a partida a frio, o período de aquecimento tende a ser mais longo e a potência do final do motor é menor,
- calor de combustão por unidade de massa - pelo álcool ter calor de combustão menor do que a gasolina, um motor consumindo E25, precisa receber maior

massa de combustível para executar o mesmo trabalho. Desta forma resultando também em maior consumo de combustível, e

- característica de detonação [03] - devido a maior característica anti-detonante do E25, este combustível permite ao motor trabalhar com relações de compressão mais elevadas que permite melhor aproveitamento do ciclo à combustão.

Um sinal da reação dos fabricantes no sentido de adequar os motores à gasolina E22 e agora E25, pode ser verificado observando a relação de compressão de alguns motores à gasolina comercializados no Brasil, conforme Figura 06. As diferentes cores utilizadas no gráfico somente demonstram que os motores pertencem a diferentes fabricantes.

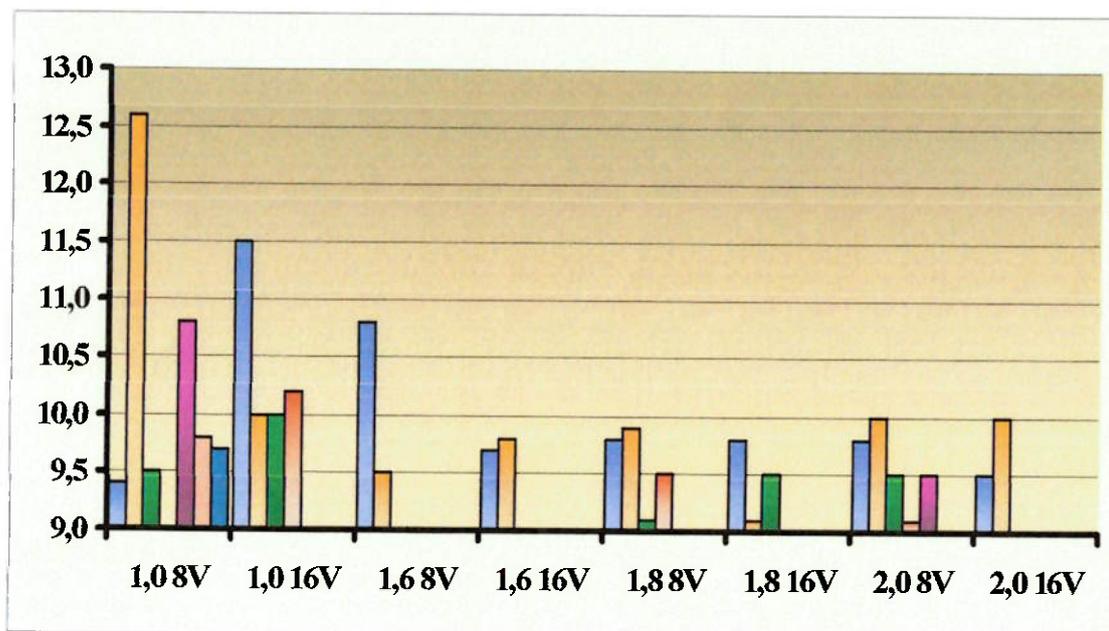


Figura 06 - Relação de compressão de motores ciclo Otto à gasolina comercializados no Brasil, [41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50]

Por outro lado, na América do Sul, nenhum outro país adiciona álcool à gasolina, e considerando que os fabricantes brasileiros exportam para a América do Sul, os fabricantes precisam encontrar o melhor compromisso de desempenho entre um motor alimentado a E25 e a E0, ou ainda explorar ao máximo o potencial do motor com ambos os combustíveis independente e disponibilizar duas versões.

3.1.8 MEIO

Tomando por base o mercado brasileiro, um veículo que deixa a linha de montagem pode ser enviado a várias regiões distintas em termos de clima, altitude, rodovias, condições de tráfego e perfil de consumidor.

O Brasil é um país continental e oferece grandes variações de condições, tais como:

- temperaturas abaixo de 0°C no Sul e superiores a 40 °C nas regiões Centro-Oeste e Norte,
- altitudes variando do 0 m a 2.200 m (Campos de Jordão),
- rodovias com diversos tipos de pavimentos, velocidades de tráfego, aclives e declives planejados e não planejados,
- grande variação de consumidores,
- condições de tráfego distintas: grandes metrópoles com trânsito congestionado devido ao grande número de veículos e semáforos, do lado oposto a pequenas cidades onde o veículo muitas vezes não atinge sua temperatura normal de funcionamento e trabalha com combustível envelhecido no tanque,
- regiões do Brasil como as Norte e Centro-Oeste onde grandes distâncias rodoviárias são percorridas,
- cidades planejadas caracterizadas por topografia plana e pequenos aclives em contraste as cidades que foram crescendo na medida da necessidade e oferecem por exemplo aclives e declives acentuados e
- combustível variado, decorrente de práticas ilícitas em que são misturados compostos químicos à gasolina que alteram as características normalizadas do produto e portanto o desempenho potencial do veículo.

Todas estas variáveis definem o quanto é complexo o projeto de *powertrain*, pois como já descrito, os veículos saídos da mesma linha de montagem conviverão com variáveis distintas e o equacionamento do seu projeto precisa assimilar as combinações destas variáveis e responder adequadamente a expectativa dos diversos clientes.

3.1.9 ATENDENDO A DEMANDA DE ENERGIA

Considerando as variáveis do veículo e do meio, o *powertrain* precisa atender as necessidades do cliente final independente da demanda de energia inerente do sistema.

Sendo os seguintes fatores dimensionáveis, mensuráveis e previsíveis:

- massa veicular,
- resistência ao rolamento (R_r),
- resistência aerodinâmica (R_a),
- resistência de inércia (R_i),
- demanda de energia pelos acessórios diretamente ligados ao motor a combustão e
- demanda de energia pelos acessórios indiretamente ligados ao motor a combustão.

Pode-se ainda agregar:

- o fator cliente (F_c), é a função de inúmeras variáveis do cliente, tais como humor, *stress*, habilidade e inabilidade de conduzir o veículo, período de uso diário, em trajeto urbano/rodoviário/misto, veículo que completa ciclo de *warm-up* ou não (período de aquecimento do motor até atingir temperatura normal de trabalho), etc. e
- o fator meio (F_m), é a função das condições de tráfego, pavimento, combustível, temperatura, pressão barométrica, umidade, altitude, etc.

Portanto estas variáveis poderiam ser vistas de uma forma macro, como segue:

$$\text{Energia requerida} = (R_r + R_a + R_i) ? (F_c + F_m)$$

Isto em dado período de tempo, que o veículo estiver sendo utilizado. Novamente as variáveis: " R_r , R_a , R_i " são dimensionáveis, mensuráveis e previsíveis, enquanto as variáveis; " F_m " podem ser conhecidas, mas a interação completa com " F_c " não.

3.2 FATORES INTERNOS AO *POWERTRAIN*

Os fatores internos ao *powertrain* são os fatores intrínsecos ao próprio *powertrain* e provenientes da interação de seus vários sistemas e de seu projeto com o meio externo.

A interação dos vários sistemas e componentes é complexa diante do grau de solicitação do veículo pelos clientes. Considerando que o motor à combustão é uma máquina térmica que apesar do baixo rendimento quando comparado com outras máquinas ou fontes alternativas de energia motriz, ainda é a melhor solução econômica para o veículo automotor, e que para avaliar melhor sua complexidade [21, 22] a mesma poderia ser descrita como:

- composto por componentes constituídos de materiais distintos e conseqüente dilatação distinta, como cabeçote de alumínio, bloco do motor geralmente em ferro fundido e elementos de fixação de aço,
- por componentes fixos e móveis, atingindo grandes rotações como o virabrequim e conjunto volante, disco e platô de embreagem e comando de válvulas,
- por componentes que atingem grandes velocidades, acelerações e desacelerações lineares, tais como: conjunto pistão, bielas e válvulas,
- que um motor de 4 cilindros girando a 3.200 rpm, o que equivale a rotação média de um veículo trafegando em rodovia à velocidade cruzeiro de 120 km/h, representa 6.640 reações químicas, elétricas e térmicas por minuto que geram os ciclos de combustão e a força motriz resultante e
- que muitos trabalham com pequenas folgas como os anéis de segmento, camisa e pistões.

Estes vários fatores ou características precisam ser corretamente estimados e agrupados, firmando um conjunto com desempenho adequado a demanda esperada.

3.2.1 ATRITOS INTERNOS DO MOTOR

Os atritos internos de um motor à combustão são decorrentes do movimento relativo das várias superfícies mecânicas e é caracterizado por atrito fluído, pois todas superfícies com movimento relativo estão separadas por película de fluído.

Existem os atritos nos mancais de sustentação (mancais e moentes do virabrequim), atrito dos mancais oscilantes (pino do pistão), atrito linear do pistão com a parede do cilindro, atrito linear dos anéis de segmento com a parede do cilindro e atrito dos cames do comando de válvulas com os tuchos de válvulas ou balanceiros.

Fahl e Hass [06] definiram experimentalmente que as perdas FMEP (bar) por atrito se distribuem na seguinte proporção:

- 15% nos mancais de sustentação,
- 33% nos mancais oscilantes e entre o conjunto pistão e anéis e a parede do cilindro,
- 28% no acionamento das válvulas,
- 15% na bomba de óleo lubrificante e
- 9% na bomba de água.

Portanto, melhores níveis de consumo de combustível podem ser atingidos [15], otimizando os sistemas acima mencionados. Os acessórios movidos direta ou indiretamente pelo motor à combustão também aumentam os atritos internos devido a maior solicitação mecânica.

Como poderá ser visto nos capítulos subseqüentes, existem caminhos a serem seguidos para reduzir as perdas por atrito que conduzem os motores a projeto específico, mas que trazem desvantagens relacionadas ao alto desenvolvimento, ao custo de produção e à menor sinergia entre diversos motores.

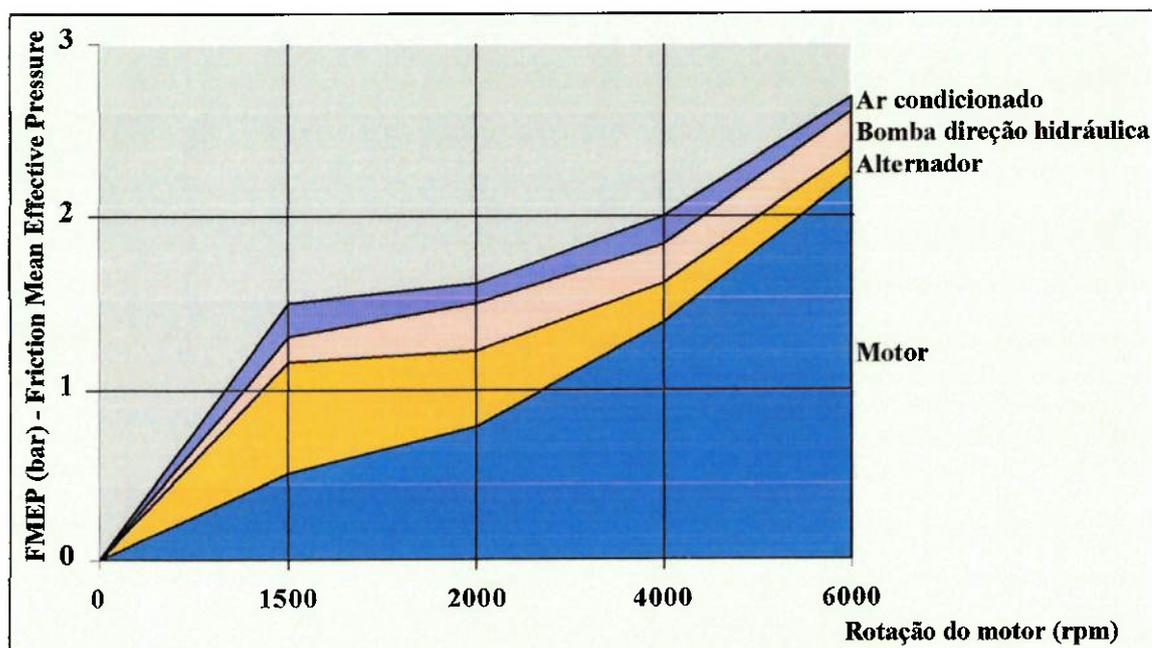


Figura 07 - Influência dos acessórios no atrito do motor [06]

O atrito devido ao consumo energético dos acessórios se torna mais crítico em rotações de marcha-lenta ou próximas desta (vide Figura 07), pois o menor torque e inércia do motor em baixas rotações, sobrecarregam os mancais axialmente comprometendo o filme hidrodinâmico. Esta condição desfavorável é típica dos centros urbanos onde o trânsito é lento ou parado, com longos períodos do motor trabalhando em rotação de marcha-lenta com acessórios de conveniência ligados.

Os longos períodos [24] em que o motor permanece em rotação de marcha-lenta com o veículo parado, geram a entrada freqüente da ventoinha de refrigeração do sistema de arrefecimento, que demanda considerável potência elétrica, sem contar as situações em que o veículo está com o ar-condicionado ligado e seu compressor esta acionado, assim como a ventoinha suplementar que refrigera o condensador. Ou seja condições típicas de uso e totalmente desfavoráveis ao motor em termos de consumo de combustível.

3.2.2 ATRITO NOS MANCAIS DE SUSTENTAÇÃO

No atrito dos mancais de sustentação, as cargas mecânicas variam com o tempo, em direção e magnitude, em função dos 4 ciclos de trabalho e esforços (admissão, compressão, explosão e exaustão). Ocorre com maior intensidade nos ciclos onde é executado maior trabalho [21], ciclos de compressão da mistura ar-combustível e de explosão.

Resumidamente o atrito nos mancais de sustentação [04, 06, 08] é determinado:

- pelo número e dimensões dos conjuntos mancais, moentes e bronzinas que é função do número de cilindros, arquitetura e disposição dos mesmos (um L4 possui 5 mancais, enquanto um V6 possui 4 apesar do maior número de cilindros),
- pela rotação máxima de trabalho e inércia dos conjuntos rotativos e
- pela eficiência do sistema de lubrificação.

Ainda, segundo Fahl e Hass [06], o atrito aumenta com o diâmetro dos moentes, portanto o melhor compromisso entre resistência mecânica e atrito deve ser pesquisado procurando as dimensões adequadas a carga unitária compensando o maior diâmetro pela maior largura dos moentes e bronzinas.

Uma situação em que podemos ver a criticidade ocorre quando um fabricante desenvolve uma família de motores com grande sinergia e intercambialidade de projeto, ou seja, comunizando um grande número de componentes, materiais e processos fabris. Por exemplo, existem fabricantes onde o conjunto virabrequim e biela atendem a uma mesma família de motores de 1.0l à 1.8l de deslocamento com variação de torque entre 80 à 170 Nm e outra de 1.6l à 2.0l com variação de torque entre 140 à 170 Nm. Isto resulta em um conjunto virabrequim, um conjunto biela e pistão, bloco e cabeçote dos motores 1.0 e 1.6 com estrutura adequada a suportar carga unitária equivalente a dos motores 1.8 e 2.0l.

Segundo Fahl e Hass [06], a redução de 10% no diâmetro do conjunto moente e bronzina reduz o atrito de um motor L4 da ordem de 15 a 25% (FMEP medidos no virabrequim).

3.2.3 ATRITO LINEAR DOS ANÉIS DE SEGMENTO COM A CAMISA E PROJETO DO CILINDRO

Reverendo conceitos, os anéis de segmento são de dois tipos [04], os de compressão projetados para selar a câmara de combustão à pressão do gás, e os anéis de óleo projetados para limitar a passagem de óleo do cárter para a câmara de combustão e permitir um filme de óleo constante. Ambos operam com película fluída.

Nos anéis de compressão, a força entre anel de segmento e a parede do cilindro ocorre devido à pressão do gás que passa na canaleta entre o anel e o êmbolo e devido à sua ação de mola. Os anéis de compressão pressionam a parede durante todo o tempo.

Os anéis de óleo tem suas canaletas ventiladas por orifícios que comunicam a região externa e interna dos pistões, desta forma não aparecendo nenhuma pressão de gás em suas canaletas.

Segundo Fahl e Hass [06], a redução em 10% na tensão dos anéis de compressão experimentalmente demonstrou redução no atrito na faixa de 5 a até 25%, cuja variação apresentada é decorrente do compromisso adotado pelo fabricante em função de consumo de óleo permitido, *blow-by* (gases provenientes da combustão que passam através das folgas dos anéis de segmento para o cárter) e desgaste.

O projeto do cilindro [15] também oferece considerável efeito no atrito entre os anéis de segmento e pistão. As grandes variáveis do projeto do cilindro são:

- a atual maior densidade de potência (kW/litro), submetendo o bloco a maiores cargas e possíveis deformações,
- janelas de refrigeração menores visando aquecimento rápido do motor, mas que em função da carga podem ocasionar fadiga térmico,
- distância entre cilindros menores visando motores compactos e melhorando as propriedades anteriores,
- deformação oriunda da pressão de combustão nas paredes do cilindro e reação do cabeçote e elementos de fixação deste no bloco e
- deformação oriunda das reações do virabrequim no bloco.

Considerando as variações possíveis no cilindro, conclui-se que os anéis de segmento terão de assimilar e compensar as variações mecânicas da camisa, cumprindo sua função de selar os gases de combustão, controlar o *blow-by*, o filme de óleo e transferindo adequadamente o calor do pistão para o cilindro.

Experimentos [06] demonstraram que distorções no diâmetro do cilindro da ordem de 0,04 mm resultam na perda de 0,1 bar na pressão média efetiva. Se considerarmos as variações térmicas, mecânicas e dimensionais oriundas do projeto e/ou processo fabril, os fabricantes freqüentemente solucionam estes efeitos inconvenientes através do aumento da tensão dos anéis, o que resulta na perda de potência em função do maior atrito resultando em maior desgaste do conjunto cilindro e anel.

3.2.4 ATRITO DO SISTEMA DE ACIONAMENTO DE VÁLVULAS

As perdas por atrito existentes no sistema de acionamento das válvulas são substanciais e ocorrem em maior proporção em baixas rotações.

O sistemas de acionamento de válvulas em uso no Brasil são [41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50]:

- comando de válvulas único (SOHC) instalado no cabeçote e com acionamento direto sobre as válvulas (referência: VW 1.6l, 1.8l e 2.0l, Fiat 1.0l e 1.3l entre outros),
- comando de válvulas único (SOHC) instalado no cabeçote ao lado das válvulas, acionando balanceiro que por sua vez aciona as válvulas (referência: GM todos 8V),
- comando de válvulas único (SOHC) instalado no cabeçote ao lado das válvulas, acionando balanceiro que por sua vez aciona as válvulas (referência: Honda 1.7l 16V),
- comando de válvulas duplo (DOHC) instalado no cabeçote e com acionamento direto sobre as válvulas (referência: GM 2.0l e 2.2l 16V, Renault 1.0l, 1.6l e 2.0l 16V entre outros),

- comando de válvulas duplo (DOHC) instalado no cabeçote e acionando balanceiro que por sua vez aciona as válvulas (referência: VW 1.0l 16V High torque) e
- os sistemas acima com tuchos mecânicos ou hidráulicos.

As iniciativas mundiais no sentido de reduzir o atrito resultaram nas seguintes ações com reduções da ordem de 30% [06] a menos de atrito no trem-de-válvulas:

- projeto *light-weight* (todos os componentes devem ser leves) das válvulas e pratos de válvulas permitindo uso de molas com menor carga, o que reduz a pressão de contato com o comando de válvulas e o atrito,
- perfil do came com rampas otimizadas visando menor atrito,
- balanceiro com rolamento [36],
- substituição do tucho hidráulico por mecânico, gerando menor massa e até redução da capacidade da bomba de óleo que absorve potência diretamente do virabrequim e proporcionalmente a elevação da rotação do motor.

Como referência, no mercado brasileiro já existem motores que aplicam balanceiros roletados e sistema de válvulas de baixa inércia como: VW 1.0l 16V *high-torque* [45] e Ford 1.0l e 1.6l 8V [42].

3.2.5 SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO - BOMBA DE ÓLEO

A capacidade da bomba de óleo lubrificante está relacionada com o número de pontos que requerem lubrificação (um motor L6 possuirá número maior de moentes fixos e móveis quando comparado a um L4), e também à distância destes pontos à bomba, e ainda se o sistema de acionamento das válvulas possuir tuchos hidráulicos ou não.

O sistema de acionamento de válvulas que possui tuchos hidráulicos, requer 10% [06] a mais de volume de óleo e bomba de óleo até 30% maior [06]. Uma característica não conveniente é que para evitar ruído de acionamento das válvulas a baixa rotação, o sistema de tuchos hidráulicos requer pressão mínima para manter os tuchos abertos (encostados nos balanceiros ou válvulas) o que resulta na bomba solicitando carga do motor mesmo em baixa rotação.

3.2.6 DOWNSIZING

Downsizing é um termo que significa substituir um motor normalmente aspirado por outro motor de menor deslocamento volumétrico, mas com adição de *turbocharger** ou *supercharger*** e *intercooler*. Os sistemas de carregamento suprindo massa de ar adicional e combustível proporcionalmente sendo injetado, resulta em motor de menor deslocamento com desempenho equivalente ou superior ao motor de deslocamento menor. Em regimes parciais ou leves estes motores também atingem consumo próximo ao motor de menor deslocamento. Um exemplo desta iniciativa é o Volkswagen 1.0l 16V *turbocharger intercooler* [45] e o Ford 1.0l 8V *supercharger* [42]. Alguns exemplos práticos obtidos pela AVL List [10] com o conceito *downsizing* podem ser observados na Figura 08 abaixo:

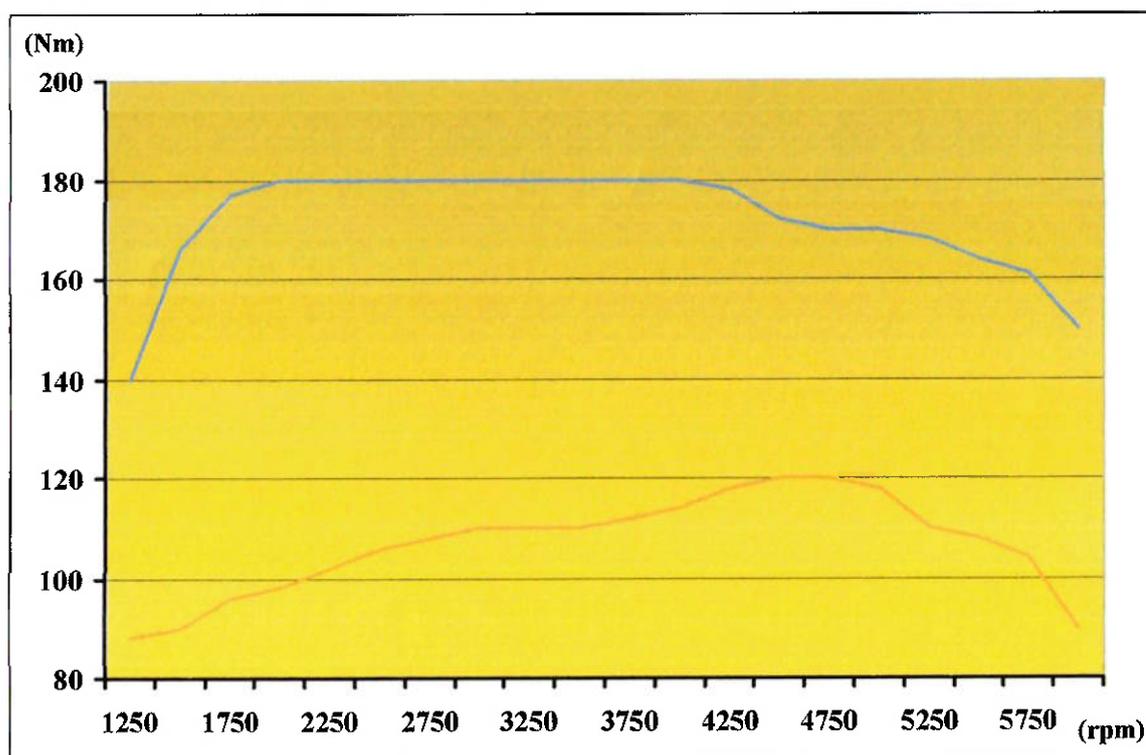


Figura 08 - Comparativo entre motor NA e *Downsized* segundo fator 1,4 [31]

* *Turbocharger intercooler* - turbo-compressor acionado pelos gases de escapamento com pós resfriador de ar do tipo ar-ar,

** *Supercharger* - compressor acionado por correia.

3.2.7 CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES RELATIVAS AOS ATRITOS INTERNOS

Os componentes do motor com movimento alternativo devem ter massa reduzida, diminuindo as cargas de inércia. Os pistões devem ser curtos, eliminando superfícies que não trabalhem junto ao cilindro, devem possuir menor número de anéis e com menor espessura e pressão tangencial.

O atrito interno do motor aumenta proporcionalmente a rotação do motor, ou também devido ao curso do pistão ser longo. O atrito também aumenta com o emprego de óleo lubrificante de maior viscosidade e com o aumento da relação de compressão. A redução de atritos internos do motor podem ocorrer através do uso de balanceiro de válvula roletado, balanceiro de válvula de liga-leve, comando de válvulas tubular e corrente de distribuição [25].

3.2.8 BOMBEAMENTO

Uma das principais perdas de rendimento dos motores a ciclo Otto, são as por bombeamento [26]. Estas perdas ocorrem quando o fluxo de ar que é aspirado pelo motor durante o trabalho de admissão, encontra a válvula de aceleração parcialmente aberta oferecendo resistência, e as válvulas de admissão hora aberta, hora fechada criando as pulsações. Esta reação adversa é característica inerente do funcionamento das referidas válvulas que em determinadas condições bloqueiam parcialmente ou totalmente o fluxo de ar para dentro dos cilindros. A alternativa técnica mais apropriada [10] para amenizar os efeitos das válvulas, seria diluir a carga (pressão absoluta no coletor de admissão) do motor através da adição de válvula EGR aproveitando o fluxo abaixo do corpo borboleta. Porém este recurso quando em alta diluição, resulta em funcionamento instável do motor.

3.2.9 VISCOSIDADE DO ÓLEO LUBRIFICANTE DO MOTOR

A economia de combustível veicular [05] é um desafio que tem sido enfrentado pelo fabricante do motor e do óleo lubrificante, pois o consumo também é afetado pelo tipo de óleo lubrificante utilizado. Considerando as várias regiões do motor onde ocorrem maior atrito, tais como: nos anéis de segmento do pistão que interagem com os cilindros, nas bronzinas interagindo com o virabrequim e bielas, e na região do comando de válvulas, nos tuchos de válvulas, nos balanceiros e nas guias de válvulas com hastes de válvulas, percebe-se que o óleo lubrificante deve atender as necessidades variadas de lubrificação.

O ganho em economia de combustível através da utilização de óleo lubrificante modificado para este fim [05, 14, 18, 19, 23], é menor se comparado com os ganhos obtidos através do desenvolvimento tecnológico do veículo (menor arrasto aerodinâmico, menor atrito de rolamento e menor peso) e do motor (utilizando sistemas de gerenciamento sofisticados, metais nobres e leves, otimizando a combustão e reduzindo o atrito). Por outro lado a grande vantagem do ganho oferecido pelo óleo, é que este é independente do resto, pois sua ação independe dos outros componentes do veículo, o que torna o desenvolvimento e o emprego de óleos modificados interessante.

Em contrapartida, o emprego de óleos que diminuem o atrito interno do motor devem manter o desempenho e a durabilidade. Existem duas propriedades do óleo lubrificante que influenciam o consumo de combustível: a viscosidade e os aditivos modificadores de atrito. Quanto menor a viscosidade, maior será a economia de combustível, função direta do menor atrito, contudo, a menor viscosidade afeta a durabilidade do motor.

Tomando por base o mercado Norte Americano[14], o óleo lubrificante tem sofrido constante re-especificação, permitindo acompanhar a diminuição da viscosidade através dos anos, como segue:

- até a década de 80 eram normalmente especificados óleos SAE 15W-40 e 10W-40, que foram gradualmente sendo substituídos pelos SAE 10W-30 e 5W-30 e
- hoje são empregados óleos SAE 5W-20 e 0W-20.

Um resumo de algumas iniciativas mundiais que tiveram a finalidade de demonstrar que os óleos lubrificantes com menor viscosidade diminuem o atrito interno do motor e melhoram os índices de consumo de combustível, podem ser encontradas na Tabela 05, extraída de Mcfall [14].

Tabela 05 - Algumas iniciativas mundiais na aplicação de óleo lubrificante para redução de consumo veicular [14]

Test name and duration	Engine type	Oil categories	SAE viscosity grade	Fuel saving		Accumulated savings over pre-'78 FE ²	
Five Car 1978-1982	Represent 40% of US fleet	API SF & SG	All applicable	1.0%		1.0%	
ASTM Seq. VI 1982-1996	1982 GM 3.8L V6	API SF & SG ILSAC GF-1	All applicable	1.5% (EC) 2.7% (EC II)		1.5% (EC) 2.7% (EC II)	
ASTM Seq. VIA 1996-2000	1993 Ford 4.6L V8 (SOHC, 2-valve)	API SJ ILSAC GF-2	0W-20, 5W-20 Other 0W, 5W All 10W	1.4%		3.0%	
				1.1%		2.7%	
				0.5%		2.1%	
				Fresh oil ³	Used oil ⁴	Fresh oil ³	Used oil ⁴
ASTM Seq. VIB ⁵ 2000-?	1993 Ford 4.6L V8 (SOHC, 2-valve)	API SL ILSAC GF-3	0W-20, 5W-20 0W-30, 5W-30 ⁶ All 10W ⁶	2.0%		3.6%	
				1.6%		3.2%	
				0.9%		2.2%	

¹ Information in this Table is largely taken from McFall [1]
² Overall FE gain is estimated from reference oil comparisons (BC 1.6% more efficient than HR); these numbers are approximate
³ Oil aging for 16 hours in the engine before fuel economy measurements
⁴ Oil aging for 96 hours in the engine before fuel economy measurements
⁵ These limits have been approved by ASTM, Subcommittee D02-B on Automotive Lubricants
⁶ The sum of fresh and used oil fuel economy must also be at least 3.0% for the 0W-30 & 5W-30 and 1.6% for the 10W grades

Por outro lado, a implementação dos óleos lubrificantes de baixa viscosidade devem acompanhar uma política de esclarecimento eficiente dirigida aos consumidores e reparadores de veículos, permitindo que os benefícios possam ser usufruídos pelos clientes ao longo da vida de seu veículo e motor.

3.2.10 TRANSMISSÃO E ESCALONAMENTO DE MARCHAS

O escalonamento das marchas [12] define qual o compromisso que o fabricante espera do veículo. Considerando as forças resistivas do veículo, o torque disponível do motor, o desempenho esperado e o uso médio do veículo, é possível

escolher as relações de transmissão. A transmissão em si, excluindo sua massa, suas perdas por atrito e inerciais, somente tem efeito no consumo de combustível em função do escalonamento de marchas escolhido. A definição deste escalonamento é um tanto complexa, pois está diretamente relacionada com a expectativa de desempenho que o fabricante espera do veículo, com o *feeling* (sensibilidade) no ato da condução do veículo, e com o torque disponível do motor. Qual seria o desempenho hipotético esperado pelo cliente e a solução oferecida pelo fabricante? Na Tabela 06 pode ser encontrado um exercício com o desejado e o oferecido.

Tabela 06 - Torque e escalonamento x desejo do cliente e solução encontrada pelo fabricante

Desempenho esperado pelo Cliente	Solução encontrada pelo fabricante
Maior capacidade de aceleração	Motor com torque elevado ou relações de marcha com grande desmultiplicação.
Maior capacidade de retomada	Motor com torque elevado ou relações de marcha com grande desmultiplicação.
Capacidade de atingir alta velocidade	Motor com torque elevado ou relações de marcha com pequena desmultiplicação.
Melhor consumo de combustível	Relações com escalonamento que permita amplificar o torque do motor para atender aos requisitos acima de forma satisfatória e que demande nível médio de trabalho do motor, em faixa de baixo consumo ou relações com escalonamento que não permita atender aos requisitos acima, mas que demande nível médio de trabalho do motor, em faixa de baixo consumo.

O escalonamento cujo primeiro objetivo é multiplicar o torque ou a rotação quando requerido, pode aumentar o consumo de combustível veicular no caso deste ser utilizado em condições de carga e rotação do motor que requeiram maior consumo de combustível.

3.2.11 VISCOSIDADE DO ÓLEO LUBRIFICANTE DA TRANSMISSÃO E EIXO TRATOR

A viscosidade do óleo lubrificante da transmissão e eixo-trator, assim como seu projeto, podem contribuir na redução do consumo de combustível veicular. Minimizar o consumo de combustível direcionando esforços à transmissão [02], requer ações que minimizem as perdas que ocorrem nesta, em função do torque transmitido, da rotação de trabalho, do regime de lubrificação existente, dos materiais utilizados, dos acabamentos superficiais, da inércia dos componentes rotativos e especialmente da especificação do óleo lubrificante. Bartz e Wienecke desenvolveram experimento com veículo de 55 kW em dinamômetro de chassi [27], efetuando diversas medições de consumo de combustível veicular segundo o ciclo Europeu transiente de medição de emissões e consumo, utilizando diversos óleos lubrificantes de transmissão, de origem mineral e sintética com pacote de aditivos variados conforme Tabela 07.

Tabela 07 - Perda de torque em função do tipo de óleo lubrificante utilizado [27]

Óleo mineral	Perdas de torque (Nm)	Óleo sintético	Perdas de torque (Nm)
A	4,6	B	4,0
A1	4,3	B1	4,3
A2	3,9	B2	4,0
A3	4,7	B3	4,0
A4	4,6	B4	4,5
A5	3,8	B5	3,5
A6	4,6	B6	4,0
A7	4,6	B7	4,7

Outros estudos [02] demonstraram que a faixa potencial de redução de consumo de combustível pode ser obtida incrementando a eficiência da transmissão de força, que como resultante requer lubrificantes de menor viscosidade, oferecendo economia de combustível veicular da ordem de 2,4 a 12,8%. A Tabela 08 informa valores obtidos em teste por Bartz e Wienecke [02].

Tabela 08 - Perda de torque em óleos com várias viscosidades [02]

Viscosidade do óleo	Perdas de torque (Nm)
SAE 75W	4,2
SAE 80W	4,5
SAE 85W 90	4,8
SAE 140	5,0

Pode-se concluir que os óleos lubrificantes da transmissão podem beneficiar o consumo de combustível veicular e que nos futuros desenvolvimentos devem ser considerados:

- que óleos de base sintética resultam em maior economia veicular quando comparados com óleos de base mineral e
- que a viscosidade revelou ser o fator principal para reduzir o consumo de combustível.

3.2.12 FASE FRIA DO *POWERTRAIN*

É bem sabido que a operação de um motor à combustão interna estando este frio, é significativamente menos eficiente [32] que quando comparado ao mesmo completamente aquecido [17]. É preciso ser considerado em uma análise global do efeito da temperatura no funcionamento do *powertrain*, ou seja, se faz necessário também considerar toda a estrutura de transmissão de torque do veículo desde o

motor, a transmissão e aos eixos tratores, pois todos possuem menor eficiência quando frios, ou melhor dizendo, quando à temperatura ambiente.

Considerando o ar sendo comprimido a temperatura ambiente, pois todas superfícies de contato desde o filtro de ar até o motor que o conduzem aos cilindros estão a temperatura ambiente, a transferência de calor de compressão também será menor, dificultando a homogeneização do ar com o combustível injetado previamente ao evento da ignição. Portanto, o aquecimento do motor à combustão, é um evento programado para acontecer pela interação de suas características mecânicas com a calibração do motor que oferece curvas de avanço de ignição e de combustível compatíveis com suas necessidades e demandas de energia [07], requeridas para movimentar o veículo e vencer as crescentes forças de rolamento, aerodinâmicas, e as absorvidas pelos acessórios de conveniência do veículo.

O óleo lubrificante [05] do motor também à temperatura ambiente, apesar da característica multi-viscosa, oferece maior resistência mecânica ao bombeamento devido a sua menor viscosidade à baixa temperatura e também o mesmo precisar atingir regiões do motor onde as folgas são mínimas.

O óleo lubrificante da transmissão [27] também à baixa temperatura oferece maior resistência mecânica, pois mesmo estando o motor em regime de marcha-lenta, o eixo de entrada da transmissão solidário ao disco de embreagem recebe rotação do motor. Este movimenta o trem de engrenagens primário da transmissão que encontra o óleo com baixa viscosidade e pesado entre os dentes das engrenagens, e também folgas diminutas que oferecem maior resistência mecânica. O aquecimento do óleo da transmissão ocorre com a transferência de calor por condução do bloco do motor à carcaça da transmissão e esta por sua vez ao óleo, e também devido ao trabalho de transferência de torque através das engrenagens de transmissão e a crescente força de contato entre engrenagens que também resulta em calor.

O óleo lubrificante, por exemplo do eixo trator traseiro de um veículo com motor dianteiro, sentirá os mesmos efeitos da baixa temperatura do óleo lubrificante da transmissão. Este óleo, contudo somente atingirá sua temperatura normal de trabalho devido aos próprios efeitos do trabalho mecânico executado por suas engrenagens, pois estando distante do motor à combustão, não receberá a parcela de calor do mesmo.

3.3 VISÃO COMPARATIVA DE EXPOENTE TECNOLÓGICO: *HONDA INSIGHT* [07, 31]

A *Honda* [07, 31] iniciou em 1999 a produção do veículo denominado *Insight*, o primeiro veículo híbrido produzido em escala industrial com o objetivo de atender aos limites de emissões americanos *SULEV* (*Super ultra low emissions vehicle*) [28], que entrará em vigor nos Estados Unidos em janeiro de 2004. Este veículo possui um motor à combustão e em série um elétrico, controlados por sistema de gerenciamento eletrônico que em função do melhor consumo de combustível (gasolina) e emissões, otimiza o uso destes motores simultaneamente ou não.

O *Insight* (vide Figura 09) é considerado o veículo em produção mais econômico dos Estados Unidos e Comunidade Européia, segundo os respectivos órgãos de certificação de emissões de poluentes [28, 29, 30], com números de consumo da ordem de 26,1 km/l em ciclo urbano e 29,0 km/l em ciclo rodoviário. Além do compromisso de consumo, este veículo também teve o objetivo de atender limites de emissões extremamente exigentes e que não será abordado por este trabalho, que tem por objetivo se concentrar nas tecnologias [37] empregadas no projeto do referido veículo que melhoram o consumo de combustível.

Para a finalidade deste trabalho de curso, serão apresentadas as tecnologia empregadas no motor à combustão e transmissão do *Honda Insight* e estas características serão comparadas com as de veículos brasileiros equivalentes em desempenho e/ou capacidade volumétrica de motor. Os requisitos de projeto do *Honda* são distintos aos dos veículos brasileiros que serão mencionados, a começar pelo objetivo de emissões [07, 11, 31] e desempenho, portanto a comparação tem a finalidade de demonstrar somente quais tecnologias já estão sendo aplicadas em produção sendo que várias foram descritas neste trabalho.

No capítulo anterior foram descritas variáveis que afetam o consumo e apresentados estudos que tiveram objetivo de amenizar os efeitos destas variáveis no desempenho em consumo.



Figura 09 - Honda *Insight* [31]

3.3.1 COMPARAÇÃO: *HONDA INSIGHT* X PRODUTOS NACIONAIS

A técnica adotada neste trabalho consiste na comparação direta de componentes ou sistemas do *Honda Insight* com os veículos nacionais segundo os critérios abaixo:

- comparação por função,
- comparação por características construtivas ou de projeto,
- comparação de material utilizado e
- comparação de lógica de funcionamento.

A. SISTEMA DE EXAUSTÃO

Devido ao motor ser compacto e de baixa cilindrada e torque, é utilizado tubulação de escapamento de diâmetro pequeno, com pequena espessura de parede, assim como coletor de escape integrado ao cabeçote, reduzindo a massa e o número de componentes.

- Referência nacional – aplicação desconhecida no que diz respeito ao coletor de escape integrado ao cabeçote.

B. VALVULA EGR

Com a finalidade de controlar os níveis de emissão de NOx quando o motor está operando *lean-burn* (queima pobre), o *Insight* utiliza válvula EGR linear que recircula parte dos gases de escapamento para o coletor de admissão através de dutos de circulação de mesmas dimensões, assegurando distribuição idêntica entre cilindros e prevenindo a condensação dos gases antes de atingir os dutos de admissão do cabeçote.

- Referência nacional – Considerando os detalhes construtivos, a aplicação é desconhecida. É conhecida somente a aplicação de válvula EGR nos motores GM 2.0l e 2.2l 16V.

C. REDUÇÃO DE PESO DO MOTOR

Todos os componentes do motor foram projetados para terem massa reduzida e as reduções mais representativas foram obtidas nos seguintes componentes:

C.1 CILINDROS

O motor não possui camisa úmida, e os cilindros possuem pequena distância entre centros, tornando o bloco compacto, curto e com menos material.

- Referência nacional – A aplicação é desconhecida. No Brasil, as aplicações devido ao foco em economia de escala, e devido aos altos investimentos em fundição e nas linhas de usinagem de um projeto similar ao do *Insight*, os blocos são projetados para atender a uma família de motores, ou seja, um mesmo bloco possui dimensões e estrutura para suportar por exemplo motores de 1.0l a 1.8l de deslocamento volumétrico, que por sua vez também resulta em maior peso.

C.2 MATERIAIS ALTERNATIVOS

O coletor de admissão é de plástico e resina, em vez de liga de alumínio. A massa do coletor de admissão completo (dutos de admissão, câmara plenum, corpo-borboleta de aceleração) é da ordem de 0,98 kg. A tampa de válvulas é de plástico e pesa 0,39 g, a polia da bomba de água pesa 0,177 g e o tubo de admissão de ar pesa 0,09 g.

- Referência nacional – Coletor de admissão e tubo de admissão de material plástico já é utilizado em vários motores: VW 1.0l 8V e 16V, Fiat 1.0l e 1.3l 8V e 16V, Renault 1.6l e 2.0l 16V e Citroen 1.6l e 2.0l 16V entre outros.

C.5 COMANDO DE VÁLVULAS ÚNICO

Componente único de acionamento indireto das válvulas, estando estas posicionadas em "V".

- Referência nacional – Tecnologia já utilizada parcialmente nos motores GM, VW e Ford 8V, e totalmente no *Honda Civic*.

C.6 BALANCEIROS DE VÁLVULAS DE ALUMÍNIO

- Referência nacional – Tecnologia já utilizada no motor *Mercedes* 1.6l e 1.9l. Demais motores nacionais pesquisados utilizam balanceiros de aço estampado, forjado ou de material sinterizado.

C.7 DESENHO DOS PISTÕES

São otimizados para mínima massa e com a saia lateral curta visando diminuição de atrito com a camisa.

- Referência nacional – VW 1.0l 16V, *Honda Civic* 1.7l, *Mercedes* 1.6l e 1.9l e GM 1.8l.

C.8 BIELAS FORJADAS .

Possuem desenho compacto, são fabricadas com aço de alta resistência, com a superfície tratada termicamente resultando em 25% de redução de massa e 50% de aumento na resistência mecânica.

- Referência nacional – É desconhecida aplicação que utiliza o mesmo conjunto de tecnologias, contudo os motores *Ford* 1.6l, VW1.0l 8V e 16V, *Honda* 1.7l 16V e *Mercedes* 1.6l e 1.9l fazem uso de bielas forjadas.

C.9 CÁRTER DE LIGA DE MAGNÉSIO INCORPORANDO FILTRO DE ÓLEO E SUPORTE DO COMPRESSOR DO AR-CONDICIONADO

O cárter ainda agrega resistência estrutural à região inferior do bloco, ajudando na redução de ruídos, melhorando o rendimento da refrigeração do óleo e é 35% mais leve que cárteres similares de alumínio.

- Referência nacional – É desconhecida a aplicação de cárter de liga de magnésio. Somente é conhecida a aplicação de cárter de alumínio (ref. GM 16V), mas sem provisão para filtro de óleo e suporte do compressor do ar- condicionado.

D. AÇÕES PARA A REDUÇÃO DE FRICÇÃO DO MOTOR

A fim de minimizar a perda de energia com atrito, as seguintes soluções foram implementadas:

D.1 CILINDROS DE CONSTRUÇÃO *OFF-SET*

A linha de centro dos cilindros está 14 mm deslocada do centro do virabrequim. Desta forma a máxima pressão de combustão ocorre no ponto em que a biela está na posição vertical, já ligeiramente em movimento descendente, resultando em força lateral igual a zero reduzindo o atrito entre a saia do pistão e a camisa.

- Referência nacional – É desconhecida a aplicação cujo *off-set* possua distância desta ordem.

D.2 PISTÕES

Nova liga de alumínio associada a novo desenho, resultando em pistão mais leve. As saias laterais recebem tratamento *shot-peened* (superfície do pistão submetida a impacto de jato de micro esferas metálicas ou de vidro) com a finalidade de reter filme de óleo nas micro-covas, o que resulta na redução de atrito da ordem de 2,0 % [31].

- Referência nacional – É desconhecida a aplicação deste tipo de tratamento.

D.3 BALANCEIROS DE VÁLVULAS ROLETADOS

Com o objetivo de minimizar o atrito de contato entre as superfícies dos cames do comando de válvulas com os balanceiros de acionamento das válvulas.

- Referência nacional – Tecnologia já empregada nos motores: VW 1.0l 8V *High torque* e Ford 1.0l e 1.6l.

D.4 ÓLEO LUBRIFICANTE DE BAIXO ATRITO OW20

- Referência nacional – Desconhecida aplicação no mercado brasileiro. Como referência os óleos especificados para o mercado brasileiro de acordo com os fabricantes são: 15W30, 15W40, 20W40 e 20W50.

D.5 SISTEMA DE DIREÇÃO EPS

A carga no motor é reduzida utilizando sistema de direção servo-assistida eletricamente, substituindo a bomba hidráulica por uma eletro-hidráulica, cuja energia despendida advém da bateria com consumo de energia resultante menor.

- Referência nacional – Aplicações conhecidas: GM Astra 16V e VW Golf.

D.6 CONJUNTO ALTERNADOR E MOTOR DE PARTIDA NO VOLANTE DO MOTOR

Conjunto no qual o alternador e o motor de partida fazem parte do volante e que possui rendimento superior ao alternador convencional. Que também converge de três componentes isolados (ref. atuais veículos) em somente um.

- Referência nacional – Aplicação desconhecida.

E. VELAS DE IGNIÇÃO

Com o objetivo de otimizar todos os sistemas, o *Insight* utiliza velas de *Iridium*, diferentes para cada cilindro. Existem 4 velas de ignição, cada uma com o eletrodo central de alinhamento específico, permitindo que na montagem seja escolhida a vela cujo eletrodo fique alinhado com o duto de admissão, otimizando a combustão e contribuindo com o desempenho e o consumo veicular.

- Referência nacional – desconhecida aplicação similar.
- Desvantagem – devido a variação normal de produção, cada cabeçote difere e requer combinação diferente de velas. Portanto, todo cabeçote passa por teste de montagem de velas e recebe marcas que identificam qual vela deve ser montada em cada cilindro. Este cuidado deve ser observado quando da manutenção normal do veículo a fim de não comprometer o rendimento do mesmo.

F. CONTROLE DA ABERTURA DAS VÁLVULAS

O *Insight* possui sistema de variação do tempo de abertura das válvulas. O comando de válvulas possui dois perfis distintos de cames de admissão e dois de

escape. Os balanceiros das válvulas são acionados hidráulicamente, onde à medida que a rotação do motor se eleva, a pressão do óleo também deslocando o segundo balanceiro em direção do segundo came. Este sistema, devido à baixa reciprocidade das massas oscilantes, permitiu a redução da carga das molas em 30%. Segundo Fahl e Hass [13], as elevadas cargas das molas responsáveis pelo fechamento das válvulas dos motores modernos de alta rotação são responsáveis por 28% do atrito total do motor.

- Referência nacional – Este tipo de aplicação é exclusiva da *Honda* e os mecanismos de variação do tempo de abertura das válvulas utilizados pelos demais fabricantes, em vez de utilizar dois comes por válvula, utilizam um conjunto polia de acionamento único que varia hidráulicamente todo eixo de comando. Não existe informação disponível de que o sistema variador de fase convencional (todos, exceto *Honda*) permita o emprego de molas de válvulas de menor carga. As aplicações no mercado nacional de sistema de comando de válvulas variável conhecidas são: *Renault* 2.0l 16V e VW 1.0l 16V Turbo.

G CABEÇOTE INTEGRADO

O cabeçote do *Insight* possui coletor de escape integrado, reduzindo massa e aumentando a retenção de calor. O coletor também possui janelas de água, permitindo rápido aquecimento da água de refrigeração e portanto diminuindo o período de aquecimento do motor, transferindo mais rapidamente calor ao conversor catalítico (período de *light-off* * reduzido).

- Referência nacional – Esta é a primeira aplicação de coletor de escape integrado ao cabeçote no mundo [31].
- Vantagem – Rápido aquecimento do motor e do conversor resultando em menor emissões na fase fria e menor consumo de combustível. Também reduz a massa do motor e torna o sistema mais compacto.

* *Light-off* - período que os gases de escapamento do motor precisam para aquecer o conversor catalítico até sua temperatura ideal de trabalho.

- Desvantagem – Devido aos altos custos envolvidos em fundição e usinagem, a responsabilidade na definição do desenho do conjunto cabeçote e coletor de escape deve prever eventuais aplicações diferentes.

H. TRANSMISSÃO

O *Insight* oferece duas opções de transmissões: mecânica de 5 velocidades e CVT. A vantagem da transmissão CVT é que conjugada à estratégia de calibração do motor, durante as várias condições de acelerações e velocidade cruzeiro o motor permanece em rotação de torque estabilizado, enquanto a transmissão compensa as variações de velocidade desejadas.

- Referência nacional – Aplicação conhecida no Audi A4 e A6.

3.3.2 ESTRATÉGIA DE GERENCIAMENTO DO MOTOR

Sempre com o objetivo de diminuir o consumo de combustível e as emissões gasosas, foi criada estratégia única de gerenciamento eletrônico do motor, que atua independente da vontade do condutor, mas seguindo a lógica de desligar o motor sempre que o condutor não exige propulsão ou o sistema de ar-condicionado.

A. DESACELERAÇÕES

Sempre que o condutor aliviar o pedal do acelerador, o processador que controla o funcionamento do motor seleciona o modo *cut-off* de combustível (condições pré-estabelecidas em que a injeção de combustível é interrompida). Notar que esta estratégia é possível devido ao veículo possuir freio eletromagnético (no volante do motor), regenerando a energia potencial do veículo em energia elétrica atuando como freio eletromagnético. O motor é desligado automaticamente nas seguintes condições:

- A1. Estando o veículo com velocidade inferior a 30 km/h e o pedal de freio é pressionado.
- A2. Estando o veículo com velocidade inferior a 5 km/h.
- A3. Estando a transmissão na posição neutra.

A4. Estando a rotação do motor inferior a 1000 rpm.

- Referência nacional - A estratégia do *cut-off* é utilizada nos atuais veículos a ciclo Otto e a rotação em que ocorre o corte de combustível depende da estratégia de cada fabricante. Como este tipo de informação não é encontrada disponível, mas pode ser identificada conduzindo os veículos, verifica-se que nos veículos atuais o corte de combustível não ocorre como no *Insight*, pois os mesmos não possuem freios regenerativos. O corte completo de combustível prejudicaria o efeito “freio motor”, pois sem combustível sendo injetado e ocorrendo a ignição, o motor se torna uma bomba de transferência de ar e sobrecarregaria o sistema de freios.
- Desvantagem – O veículo requer sistema de freio de maior potência ou regenerativo e ainda processador capaz de executar as rotinas especificadas.

B. CONDIÇÕES EM QUE O MOTOR NÃO É DESLIGADO

O motor não é desligado pelo processador nas seguintes condições: enquanto o motor não atingiu a temperatura normal de funcionamento,

B1. Se a transmissão estiver com a marcha-a-ré engrenada.

B2. Se o processador identificar carga insuficiente na bateria.

B3. Se o processador identificar tráfego do tipo “anda-e-para”.

B4. Quando o condutor selecionar o “modo-auto” do sistema de ar-condicionado, onde o motor permanece acionando o compressor do ar-condicionado até a temperatura desejada ser atingida. Neste ponto o compressor e o motor são desligados e o sistema de ventilação somente é acionado para manter nível razoável de conforto.

- Referência nacional - Funções não existentes nos veículos conhecidos.
- Desvantagem – Veículo requer processador capaz de executar as rotinas especificadas, e é necessária ampla divulgação e convencimento do cliente sobre os benefícios da tecnologia.

C. CONDIÇÕES EM QUE O MOTOR É LIGADO AUTOMATICAMENTE

A seguir as condições em que o motor é ligado automaticamente:

C1. Quando uma marcha é engrenada.

C2. Quando o pedal de freio é liberado em desaceleração.

C3. Quando o pedal do acelerador é pressionado.

- Referência nacional - Funções não existentes nos veículos conhecidos.
- Desvantagem – Veículo requer processador capaz de executar as rotinas especificadas, e é necessária ampla divulgação e convencimento do cliente sobre os benefícios da tecnologia.

3.3.3 COMENTÁRIOS ADICIONAIS SOBRE A ARQUITETURA GERAL DO *INSIGHT*

Para atingir o atual nível de consumo e emissões, a engenharia da *Honda* foi além da utilização das tecnologias conhecidas, como alívio de atrito interno, alívio das massas oscilantes ou não oscilantes, comando de válvulas variáveis, etc. A engenharia programou o veículo para interceder na vontade e forma de dirigir do condutor, seguindo padrões pré-estabelecidos e muito bem divulgados através dos manuais de proprietário e rede de pós-venda. Naturalmente o veículo se destina a um público específico, que possui consciência ecológica e poder aquisitivo, pois o veículo possui custo de aquisição elevado, quando comparado aos demais veículos equivalentes.

Esta estratégia permite entender e concluir:

- que os ganhos de consumo através do emprego de tecnologias tem um limite e podem satisfazer ou não, dependendo do grau de exigência do mercado,
- que o próximo passo além do emprego das referidas tecnologias e ainda anterior aos veículos movidos à combustíveis alternativos (puramente elétricos ou por reforma de algum tipo de gás ou líquido), é interceder na vontade do motorista sem lhe causar prejuízos a sua maneira de atingir seus objetivos de locomoção e
- que existe uma política de pós-venda constante e muito forte no mercado americano (principal mercado do *Insight*), disponibilizando informações sobre o veículo, seus benefícios, grande interatividade com os consumidores através da *Internet* (incentivando os donos de veículos a relatarem suas médias de consumo e experiências pessoais com o carro, etc.) e grande enfoque no meio-ambiente.

3.3.4 COMPARATIVO: *HONDA INSIGHT* E MOTORES COM APLICAÇÃO NO BRASIL

Neste sub-ítem é proposta a comparação de alguns detalhes construtivos do *Honda Insight* com veículos brasileiros com mesmo deslocamento volumétrico de motor.

O importante na comparação a seguir, é verificar que mesmo possuindo deslocamento volumétrico similar ao de veículos brasileiros e que seus números de desempenho do motor estão próximos, o desempenho do veículo é muito superior em termos de consumo de combustível, aceleração e velocidade máxima.

Segundo a *Honda* [31], o nível de desempenho é atingido pela aplicação das tecnologias mencionadas no *powertrain*, em conjunto com um veículo de baixa massa, com baixo arraste aerodinâmico, resultando na obtenção de desempenho equivalente a de veículos de maior deslocamento volumétrico.

Tabela 09 - Comparativo *Honda Insight* e motores com aplicação no Brasil

Veículos modelo 2002	Honda Insight	GM Corsa	VW Gol	Ford Fiesta
Motor tipo	Lean-burn – L4	Estequiométrico L4		
Sistema injeção	MPFI	MPFI		
Sistema ignição	<i>Pencil-coil</i>	DIS		
Materiais				
Bloco	Liga Alumínio	Ferro fundido	Ferro fundido	Ferro fundido
Cabeçote	Liga Alumínio	Liga Alumínio	Liga Alumínio	Liga Alumínio
Cárter	Liga Magnésio	Chapa de aço	Chapa de aço	Chapa de aço
Coletor admissão	Plástico	Liga Alumínio	Plástico	Plástico
Coletor escape	Liga Alumínio	Ferro fundido	Ferro fundido	Ferro fundido
Trem de válvulas	12 V SOHC Corrente, duração e <i>lift</i> variável , e balanceiro roletado	8V SOHC, Correia, tucho hidráulico e balanceiro	8V SOHC, correia, tucho hidráulico e balanceiro roletado	
Cilindrada (l)	0,995	0,999	0,999	0,999
Taxa de compressão	<i>5-veloc:</i> 10.8:1 <i>CVT:</i> 10.3:1	12,6 :1	10,8 : 1	9,8 : 1
Peso do motor (kg)	56	97	ND*	ND*
Potência max. CV @ rpm	67 @ 5700	71 @ 6.400	65 @ 6.000	65 @ 6.000
Torque (Nm) @ rpm	73 @ 5700 91 @ 2000	89 @ 3.000	85,7 @ 4.500	83,8 @ 3.250
Velocidade máxima (km/h)	180,0	152	149	155
Aceleração 0-100 km/h (s.)	12,0	16,4	15,8	16,4

Observação:

* ND - Não disponível

3.4 TECNOLOGIAS APLICADAS NO BRASIL E EXTERIOR

Kapus et al [10], Au Yeung et al [01] e o relatório do EPA [33] sobre tecnologias apresentadas pela indústria automobilística americana entre os anos 1975 a 2001, resumidamente demonstraram a explosão de tecnologias nos últimos anos,

fruto da competitividade, das leis de emissões mais rigorosas e dos custos de produção em massa. O quadro abaixo (Figura 10) mostra as tecnologias mais relevantes aplicadas, onde as áreas escuras cobrem as tecnologias empregadas no Brasil e que correspondem à resposta da indústria à solicitação do mercado local: competitividade, custo baixo e nível de emissões menos rigoroso.

As tecnologias restantes ilustradas na mesma figura, são a resposta da indústria europeia, japonesa e americana ao mercado com alta competitividade, crescimento limitado e requisitos de emissões rigorosos .

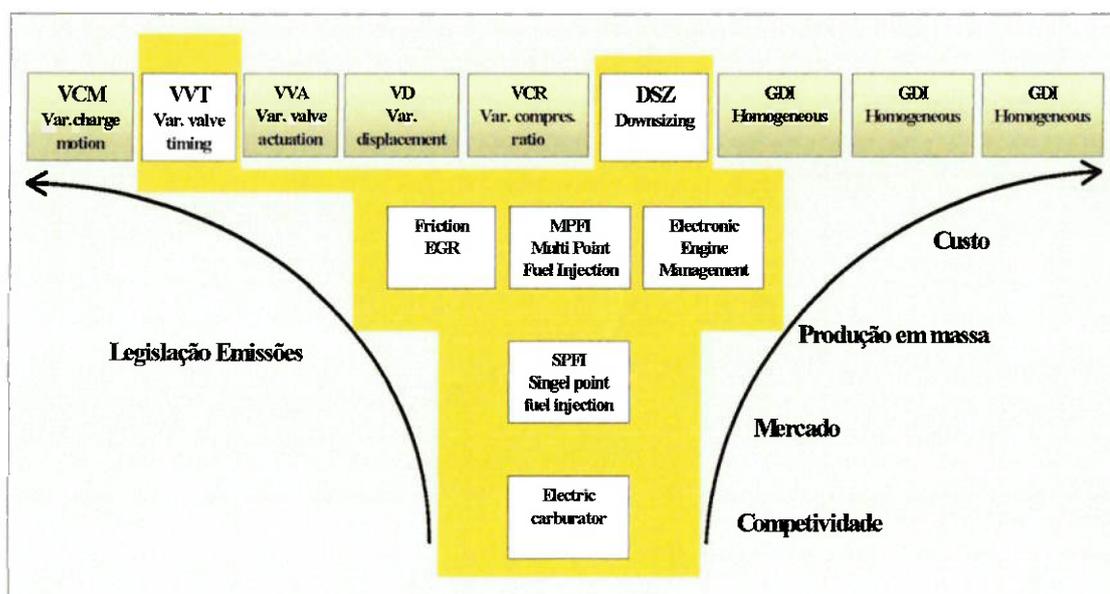


Figura 10 - Evolução da tecnologia: Brasil X Europa, EUA e Japão

[01, 33, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 55]

4 PROJETO EM FUNÇÃO DO CONSUMO

Os capítulos anteriores definiram o consumo de combustível do motor e do veículo, quais são suas variáveis que influenciam no consumo, sejam estas variáveis proveniente do veículo, do *powertrain* ou do meio. A definição do projeto que beneficiará o consumo de combustível passará pelas variáveis mencionadas anteriormente, as externas e internas ao *powertrain*. Existem ganhos no consumo de combustível que podem ser obtidos com o projeto do veículo e com o do *powertrain*. Em função da complexidade, tempo e custo de se alterar o veículo para obter menor peso, por exemplo, as ações que visam redução de consumo veicular podem recair no *powertrain*.

A tomada de decisão visando escolher qual tecnologia empregar e o porque esta será melhor que outra, pode ser feita determinando quais são os parâmetros de análise e julgamento da empresa. Ponderar qual agrupamento de tecnologias deveria ser seguido, requer análise comparativa [09] dos ganhos e recursos envolvidos.

Portanto, como contribuição deste trabalho de curso, é sugerido um modelo de análise de viabilidade de projeto. Para um melhor entendimento da proposta, a mesma esta dividida em:

- definição dos parâmetros de julgamento,
- análise ponderada de cada parâmetro e
- visualização gráfica.

4.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE JULGAMENTO

Para efetuar a análise ponderada proposta, é sugerido utilizar os seguintes parâmetros de referência e julgamento geral de um projeto de *powertrain*:

- nível de desenvolvimento requerido,
- tempo de desenvolvimento requerido,
- alteração de conceitos e estrutura,
- custo de engenharia,
- investimento em fábrica e/ou fornecedores,
- competitividade e

- intercambialidade.

A escolha destes parâmetros tem por objetivo delimitar um número de variáveis de um projeto para facilitar a análise e associar parâmetros identificados na revisão bibliográfica, tais como: custo, tecnologia, desempenho, intercambialidade, etc.

O nível de influência dos parâmetros pode variar em intensidade, portanto para efeito desta análise, será utilizada uma escala de valores fixa, com o objetivo de facilitar a interpretação e também porque informações reais de custo e medições de competitividade são parâmetros confidenciais das empresas. Portanto, todos os parâmetros independente da sua unidade real (por exemplo, custo expresso em moeda brasileira, R\$), serão expressos pelos valores numérico sugeridos abaixo.

Esta escala de influência será baseada em:

- a escala poderá variar de 1 a 5,
- os parâmetros identificados como "1", serão os mais rápidos na execução, ou que exijam menor recurso,
- os parâmetros identificados como "5", serão os que exigirão maior tempo para implementação ou maior recurso,
- os parâmetros intermediários serão de "2" a "4" e sua intensidade naturalmente será crescente ou decrescente dependendo da referência e deverá obedecer aos limites inferior e superior.

O critério para identificar porque determinada ação recebeu nota "1" e não "5", por exemplo, é baseado:

- na análise de impacto do emprego das várias tecnologias obtidas na revisão bibliográfica,
- na análise crítica do autor deste trabalho, que tem por objetivo ilustrar a metodologia e
- nos valores médios, que é a combinação das opiniões dos vários indivíduos listados.

4.2 ANÁLISE PONDERADA DE CADA PARÂMETRO

Considerando as variáveis escolhidas, seu grau de influência poderia ser definido por:

A. Nível de desenvolvimento requerido

Reflete o grau de dificuldade ou inovação do projeto por meio das atividades requeridas para sua execução e implementação. Se forem consideradas as combinações possíveis de tarefas e o nível de impacto que cada uma delas pode oferecer na determinação final do nível de desenvolvimento que o novo produto está solicitando, pode ser concluído que a Tabela 10 sugerida não consegue representar este universo de combinações, portanto a referida tabela tem finalidade orientativa.

A Tabela 10 deve ser utilizada da seguinte forma, a partir da definição do tema do projeto a ser estudado, é necessário definir quais são as atividades de engenharia que se enquadram dentro do universo de etapas pré-estabelecidas na tabela 10.

Na definição da escala de atividades, os agrupamentos sugeridos como por exemplo para uma atividade que receba "nota 1", reflete que o desenvolvimento proposto utilizará o agrupamento das atividades AM, TDE e LE (conforme Tabela 10).

Tabela 10 - Exemplo: Variação da nota em função do agrupamento de atividades de desenvolvimento

ETAPAS CONSIDERADAS DE UM PROJETO	NOTAS				
	1	2	3	4	5
Análise de montagem - AM	(X)	X	X	X	X
Simulações numéricas - SN	↑				X
Montagem de Protótipos - MP	↓		X	X	X
Testes de desenvolvimento - TDE	(X)	X	X	X	X
Teste de durabilidade - TDU	↑			X	X
Certificação do produto - CP	↓	X	X	X	X
Liberação de engenharia - LE ----->	(X)	X	X	X	X

O nível de desenvolvimento requerido reflete qual estrutura a empresa possui para o desenvolvimento.

Exemplificando, um nível de desenvolvimento elevado requer recurso humano especializado:

- com capacidade crítica e técnica para selecionamento de alternativas de projeto,
- com habilidade em manejar equipamentos sofisticados como estações de CAD, CAM e CAE e
- com habilidade para ajustar parâmetros funcionais do sistema de gerenciamento eletrônico do motor.

Em paralelo ao recurso humano, a empresa precisa também de recursos materiais:

- como estações de CAD, CAE e CAM, assim como as específicas para análise estrutural e térmica por exemplo e
- como laboratórios para simulações mecânicas, térmicas e demais recursos que possibilitem rápido desenvolvimento.

B. Tempo de desenvolvimento requerido

A ponderação da variável tempo é relativa, pois se considerarmos que do início do desenvolvimento à implantação da nova tecnologia se passaram 12 meses, pode ser concluído que:

- o projeto pode ser considerado rápido se o mercado pode esperar pela mudança sem que o produto perca sua competitividade e o retorno financeiro considerando o período de vida do produto no mercado for adequado as metas da empresa,
- se as variáveis competitividade de mercado e/ou retorno financeiro não forem atendidas, os 12 meses serão considerados excessivos.

Portanto para efeito de simulação do modelo, as notas para a função tempo de desenvolvimento requerido (T), serão consideradas da seguinte forma:

- 1 - $T < 12$ meses,
- 2 - $12 < T < 24$ meses,
- 3 - $T = 24$ meses,
- 4 - $24 < T < 36$ meses e
- 5 - $T > 36$ meses.

C. Alteração de conceitos e estrutura

A alteração de conceitos e estrutura ocorrerá quando o desenho ou a função do componente ou sistema, afetará os conceitos ou práticas das pessoas que tem contato com o produto. Por exemplo: o uso de óleo lubrificante de baixa viscosidade exigirá disponibilização e divulgação do produto no mercado de reposição e conscientização do cliente e do sistema de pós-vendas do fabricante, da necessidade de utilizar o óleo especificado como garantia de desempenho em consumo conforme projeto ou de durabilidade do motor. Portanto, para efeito de simulação do modelo de análise, as notas para a função alteração de conceitos e estrutura serão consideradas da seguinte forma:

- 1 - quando a não obediência do cliente ou pós-vendas às determinações de uso e/ou manutenção não acarretarão a redução do desempenho ou garantia,
- 2 - quando a não obediência do cliente ou pós-vendas às determinações de uso e/ou manutenção acarretarão a redução de desempenho,
- 3 - quando a não obediência do cliente ou pós-vendas às determinações de uso e/ou manutenção acarretarão a redução da garantia e desempenho,
- 4 - quando a não obediência do cliente ou pós-vendas às determinações de uso e/ou manutenção acarretarão a perda de desempenho e
- 5 - quando a não obediência do cliente ou pós-vendas às determinações de uso e/ou manutenção acarretarão a perda de garantia e desempenho.

Como outro exemplo, quando uma nova tecnologia receber "nota 5", isto implicará em alto risco, pois a não eficiência do trabalho de divulgação e conscientização acarretará na perda de garantia e desempenho que por sua vez resultará em custo de garantia para o fabricante e insatisfação do cliente.

D. Custo de engenharia

Custo de engenharia é relativo a mão-de-obra e material envolvidos no projeto e atividades de suporte, tais como: construção de peças protótipos, montagem de conjuntos protótipos e execução de testes de desenvolvimento, durabilidade e certificação do produto. Considerando que o custo é proporcional a complexidade e duração do projeto, e que o custo de mão-de-obra (homens/hora) não será

considerado neste exemplo, a nota representando o custo de engenharia será identificada conforme a expressão abaixo:

$$\text{Custo de engenharia} = \frac{(\text{Nível de desenvolvimento} + \text{Tempo requerido})}{2}$$

Onde, a forma de quantificar o nível de desenvolvimento foi abordado na página 64 e o tempo requerido foi abordado na página 65.

E. Investimento em fábrica e/ou fornecedores

Os fatores geradores de investimento são vários e equacionar estas variáveis não é o objetivo deste trabalho. O investimento pode ser decorrente do alto grau de inovação do produto. Por outro lado, um alto grau de inovação pode eventualmente resultar no emprego de projeto e processo fabril que requeiram baixo investimento.

Para efeito da simulação do modelo proposto, está sendo sugerida a Tabela 11 para orientar a definição das notas aplicáveis aos estudos de caso.

Tabela 11 - Exemplo: Variação de nota em função de etapas de manufatura de novos componentes ou sistemas

ETAPAS CONSIDERADAS PARA ANÁLISE DE IMPACTO DE INVESTIMENTO	NOTAS				
	1	2	3	4	5
Matéria-prima	↑	X	X	X	X
Ferramental ----->	X	X	X	X	X
Processo fabril ----->	X	X	X	X	X
Tecnologia	↑	↑	X	X	X
Armazenamento ou movimentação na montadora	↓	↓	↑	↓	X
Processo de montagem na montadora	↓	↓	↓	X	X

Se forem consideradas as combinações possíveis de tarefas e o nível de impacto que cada uma delas pode oferecer na determinação final do investimento que o novo produto está resultando, pode ser concluído que a Tabela 11 sugerida não

conseguirá cobrir este universo de combinações, portanto esta tabela tem finalidade orientativa.

F. Competitividade

A competitividade pode ser definida como sendo o desempenho do produto diante do desempenho da concorrência, ou pode ser quantificada baseada na interpretação do cliente sobre desempenho. É importante entender que a competitividade [09] mensurada, são os valores de desempenho ou notas recebidas pelo produto durante avaliação, podendo ser diferente da competitividade interpretada pelos clientes, que é função da sua análise pessoal e subjetiva.

Ainda, o termo competitividade pode ser aplicado de acordo com a necessidade do modelo, como por exemplo: se o veículo está perdendo competitividade para modelo concorrente devido ao consumo de combustível elevado, a análise relativa poderia ou não ser feita comparando o consumo urbano do concorrente com o do próprio produto.

Para efeito de simulação do modelo proposto, as notas seguirão os seguintes critérios:

- 1 - quando a competitividade for consideravelmente superior a maioria da concorrência,
- 2 - quando a competitividade for marginalmente superior a maioria da concorrência,
- 3 - quando a competitividade for igual a maioria da concorrência,
- 4 - quando a competitividade for marginalmente inferior a maioria da concorrência e
- 5 - quando a competitividade for inferior a maioria da concorrência.

G. Intercambialidade

A maior intercambialidade resulta na aplicação dos mesmos componentes, sistemas ou processos em um maior número de produtos do mesmo fabricante, simplificando toda cadeia produtiva (produção, estoques na fábrica e no campo, processos comunizados, facilidade de montagem, etc.). Isto resulta em ganho de

economia de escala. Portanto para efeito de simulação deste modelo, as notas seguirão os seguintes princípios :

- 1 - componente ou sistema com intercambiabilidade plena dentro da mesma família de produtos,
- 2 - componente ou sistema com intercambiabilidade funcional e física, mas com desempenho marginalmente inferior,
- 3 - componente ou sistema com intercambiabilidade funcional e física, mas com desempenho inferior,
- 4 - componente ou sistema com intercambiabilidade funcional ou física, mas com desempenho inferior e
- 5 - componente ou sistema com desenho específico, não intercambiável.

4.3 VISUALIZAÇÃO GRÁFICA

Considerando a análise sugerida nos sub-ítem anteriores, o melhor projeto resultaria na seguinte mensuração:

- nível de desenvolvimento requerido - "1", representando o menor,
- tempo de desenvolvimento requerido - "1", representando o menor,
- alteração de conceitos ou estrutura - "1", representando a menor,
- custo de engenharia - "1", representando o menor,
- investimento em fábrica e/ou fornecedores - "1", representando o menor,
- competitividade - "1", representando a maior e
- intercambiabilidade - "1", representando a maior.

Definidos os parâmetros de avaliação de viabilidade de projeto, é sugerido a visualização gráfica da análise crítica. De posse da análise ponderada, os valores serão introduzidos em gráfico tipo *Spider* (referência utilizada no trabalho, *software Lotus Smartsuite Freelance graphics* - nota: existem outros *softwares* similares no mercado), cujos eixos são ordenados com o objetivo de retratar o melhor cenário na borda externa do gráfico (vide Figura 11). Desta forma é possível verificar em quais variáveis um produto e sua proposta englobam a outra, portanto são menos eficazes. A escolha por este modelo de gráfico é devido a possibilidade de avaliar vários

cenários e suas variáveis simultaneamente e visualizar um cenário englobando o outro.

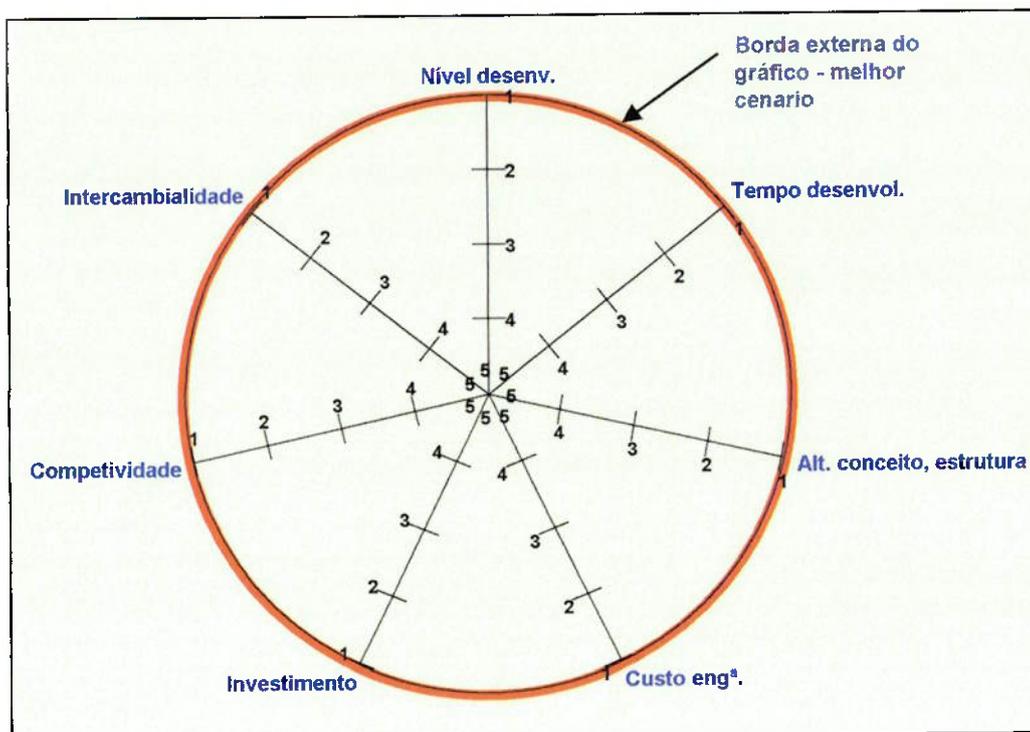


Figura 11 - Gráfico *Spider* com os eixos e parâmetros de análise sugeridos

Relativo ao processo de tomada de decisão, não é incomum verificar em estudos de casos publicados e nas próprias empresas a tomada de decisão sendo efetuada tendo em um primeiro plano poucas variáveis, como por exemplo: custo e tempo de desenvolvimento somente. A análise final de um projeto pode convergir para estas duas variáveis, contudo estas não devem desde o início das discussões de viabilidade estar em um plano de maior importância e as demais variáveis (variáveis referencia deste trabalho conforme sub-ítem 4.1 e 4.2) em plano inferior ou na memória dos participantes da decisão.

Como por exemplo, uma decisão sendo tomada comparando o custo e tempo de implementação de um determinado projeto, em detrimento a outra solução com custo e tempo de desenvolvimento ligeiramente superiores, mas que apresente desempenho muito superior. Portanto, o agrupamento das variáveis sugeridas tem por objetivo orientar a tomada de decisão considerando um número mínimo de

variáveis e não focando somente poucas como custo e tempo de implantação. A forma gráfica sugerida, também tem o objetivo de melhorar a visualização das variáveis da tomada de decisão.

4.4 SIMULAÇÃO DE MODELOS

O objetivo deste sub-ítem é simular cenários técnicos descritos na revisão bibliográfica, através da metodologia que esta sendo proposta por este trabalho de curso, ou seja, considerando os parâmetros de julgamento e análise ponderada das propostas (conforme sub-ítens 4.1 e 4.2). As ponderações serão introduzidas no gráfico para visualização e posterior conclusão dos impactos do projeto como um todo. Existirão cenários únicos, de comparação, resultantes da comparação e sobrepostos.

Para iniciar as simulações, será considerado que o problema é melhorar o consumo de combustível veicular de um veículo hipotético com as seguintes características:

MOTOR

- motor de 4 cilindros em linha, normalmente aspirado, do ciclo Otto e combustível E25,
- disposto na dianteira transversalmente,
- com 1.4 l de deslocamento, pertencente a família de motores "X", que é composta pelas variantes: 1.0, 1.4, 1.6 e 1.8l,
- bloco de ferro fundido, cabeçote de alumínio e cárter de chapa de aço,
- coletor de admissão de liga de alumínio,
- coletor de escape de ferro fundido,
- injeção eletrônica *closed-loop*,
- versão SOHC 8V e acionamento das válvulas por meio de balanceiros,
- óleo lubrificante utilizado 20W40,
- pistão com 3 anéis de segmento, 2 de compressão e 1 raspador de óleo,
- acessórios acionados pelo motor: alternador, bomba de direção servo-assistida e compressor do ar-condicionado,

- consumo urbano segundo ciclo FTP-75: 12,0 km/l (consumo do concorrente *best-in-class* (melhor na classe) 14,5 km/l e do concorrente *worst-in-class* (pior na classe) 10,5 km/l) e
- consumo extra-urbano segundo ciclo FTP-75: 16,0 km/l (consumo do concorrente *best-in-class*: 18,5 km/l e do concorrente *worst-in-class*: 14,5 km/l).

TRANSMISSÃO

- manual de 5 marchas,
- disposta na dianteira transversalmente e
- carcaça de liga de alumínio.

4.4.1 MODELO 1 - IMPACTO ESTIMADO DAS VARIÁVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE MODIFICADO QUE REDUZ ATRITO NO MOTOR

Considerando os parâmetros de projeto e seqüência de análise descritas no início deste capítulo:

- Nível de desenvolvimento requerido - "3", pois requer o agrupamento de atividades descritas na Tabela 10: AM, MP, TDE, CP e LE.
- Tempo de desenvolvimento requerido - "2", devido ao tempo estimado para validar a aplicação do óleo em verificações de dinamômetro e no veículo, com exposição entre 12 e 24 meses.
- Aplicação envolve grandes alterações em conceitos ou estruturas - "4", devido ao elevado grau de inovação no mercado brasileiro e necessidade de implementar política de distribuição nacional, divulgação do produto ao público e conscientização do mesmo quanto a necessidade da manutenção do uso como forma de garantir o desempenho programado. O não uso comprometerá o desempenho, principal objetivo do produto/tecnologia.
- Custo total de engenharia - "3", devido a validação requerida em bancada e no veículo.
- Investimento em fábrica e/ou fornecedores - "3", considerando nova matéria-prima, processo fabril, tecnologia e armazenamento específico na montadora.

- Competitividade prevista adequada, diante da concorrência ou expectativa do cliente - "4", devido a ser um ganho pequeno frente a distância que separa o melhor concorrente, mas que também não pode ser desprezado porque é independente.
- Intercambialidade - "1", considerando que a validação na versão mais crítica da família caso exista, o emprego pode ser estendido aos demais motores da mesma.

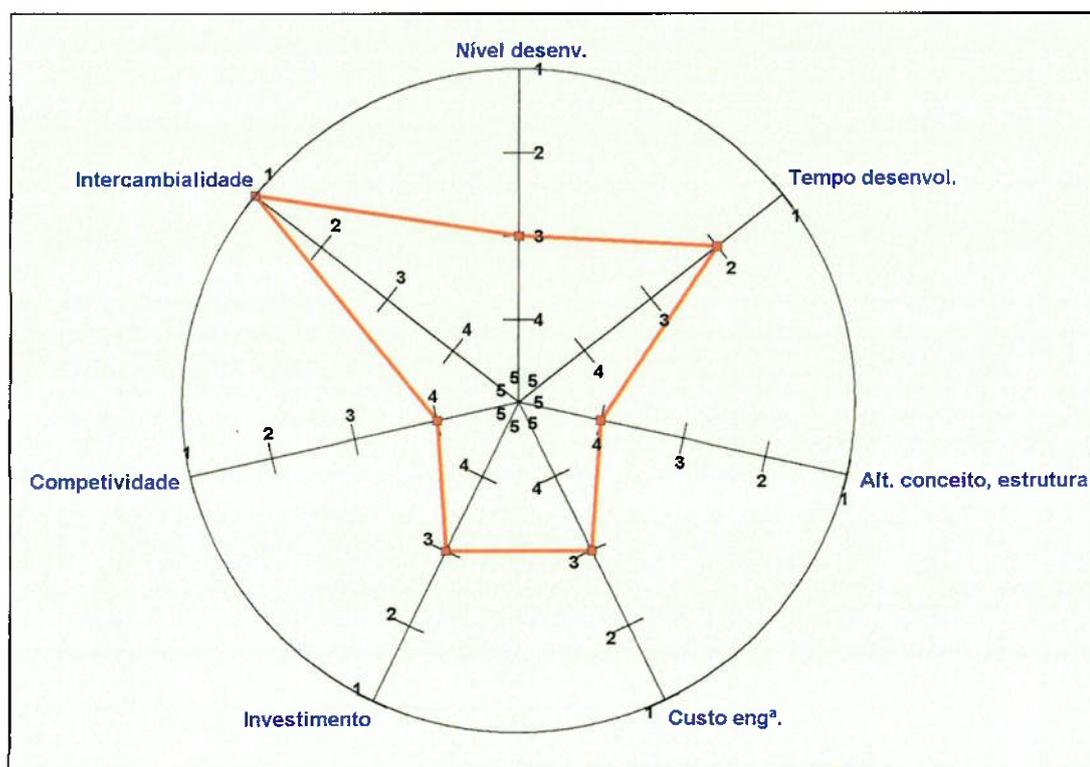


Figura 12 - Modelo I - Análise de variáveis de implementação de óleo lubrificante de baixo atrito

CONCLUSÕES DO MODELO I

O gráfico resultante ilustrado na Figura 12, permite verificar que:

- as variáveis mais distantes da borda do gráfico (em maior intensidade alteração de conceito estrutura e competitividade, e em menor intensidade o nível de desenvolvimento, custo de engenharia e investimento), representam os obstáculos a implementação do projeto e

- para implementar a proposta considerando estes obstáculos, esforços devem ser direcionados para a identificação de mecanismos alternativos de verificação e validação de projeto que reduzam os recursos. O equacionamento do impacto possível da alteração de conceitos e estrutura depende também da estratégia de divulgação ao mercado dos benefícios do emprego do referido óleo lubrificante e também de uma análise de risco por parte da empresa.

4.4.2 CONCLUSÕES INDIRETAS DO MODELO

A observação do gráfico resultante do modelo I, permite concluir por exemplo, o quanto distante a proposta está da condição ideal ou melhor dizendo, da borda externa do gráfico. Esta situação indica quais são as ações ou reflexos destas que dificultam a aprovação do projeto.

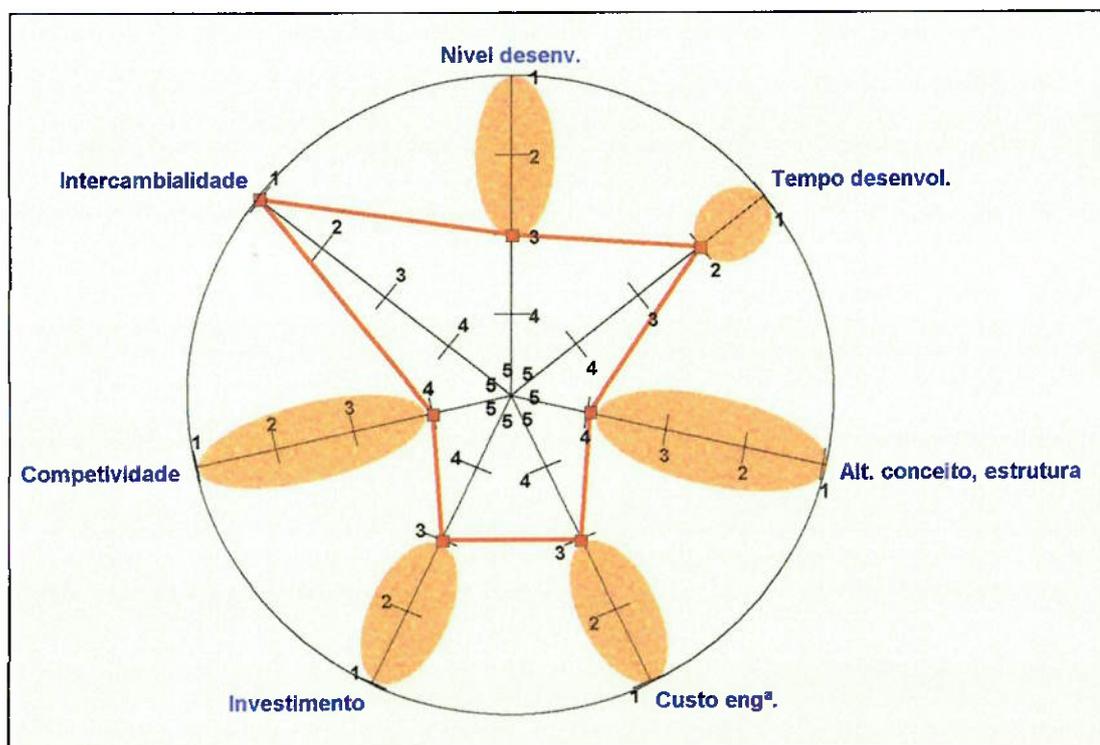


Figura 13 - Conclusões indiretas extraídas do modelo I

Observando a Figura 13, as zonas do gráfico identificadas por elipses escuras sobre os eixos ilustram as variáveis que oferecem impacto a tomada de decisão.

Tomando por base o modelo da Figura 13, cuja proposta demanda tempo e custos de engenharia médios, a mesma poderia receber aprovação caso o projeto proposto fosse considerado estratégico para a empresa. Analisando cada variável isoladamente:

- o nível de desenvolvimento que está resultando um custo de engenharia e tempo de desenvolvimento médios (notas 3 no gráfico), sugere que existe espaço para melhora, ou seja, para a procura de novas metodologias de desenvolvimento de projeto que requeiram menos recursos e tempo de execução. Por exemplo, esforços devem ser aplicados na descoberta de ferramentas de simulação e validação numérica, ou de validação acelerada em bancada, ou por metodologias preditivas estatísticas com as quais possam ser reduzidas as variáveis acima mencionadas como críticas,
- nível médio de investimento (nota 3 no gráfico), sugere que esforços devam ser aplicados na busca por projeto, processos e materiais alternativos que reduzam o investimento no fornecedor do componente ou sistema e dentro da própria fábrica que deverá agregar este produto ao veículo e
- alteração de conceito ou estrutura com risco elevado (nota 4 no gráfico), onde de acordo com a análise ponderada proposta neste trabalho, é oriunda de fatores subjetivos. Portanto, sugere que esforços devam ser aplicados na análise destes fatores subjetivos e também da política da empresa e como ela lida com estes fatores.

4.4.3 MODELO II - IMPACTO ESTIMADO DAS VARIÁVEIS NA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE ACIONAMENTO DE VÁLVULAS COM ATRITO REDUZIDO

Considerando os parâmetros de projeto e seqüência de análise descritas no início deste capítulo:

- Nível de desenvolvimento requerido - "4", pois requer o agrupamento de atividades descritas na Tabela 10: AM, MP, TDE, TDU, CP, LE e TDU.

- Tempo de desenvolvimento requerido - "3", devido ao tempo estimado para validação, verificações de dinamômetro e no veículo, com exposição equivalente a 24 meses.
- Aplicação envolve grandes alterações em conceitos ou estruturas - "2", devido ao grau de inovação afetar somente o mercado de reparação quanto a correta manutenção que garantirá o desempenho.
- Custo total de engenharia - "4", devido ao nível de desenvolvimento e tempo requerido.
- Investimento em fábrica e/ou fornecedores - "4", devido ao investimento requerido na fundição e usinagem do comando de válvulas com raio negativo e fornecedores adequando sua proposta a aplicação específica.
- Competitividade prevista adequada, diante da concorrência ou expectativa do cliente - "2", devido a oferecer ganho representativo e podendo situar o produto acima de vários concorrentes.
- Intercambialidade - "1", considerando a validação na versão mais crítica da família, caso exista, o emprego pode ser estendido aos demais motores desta.

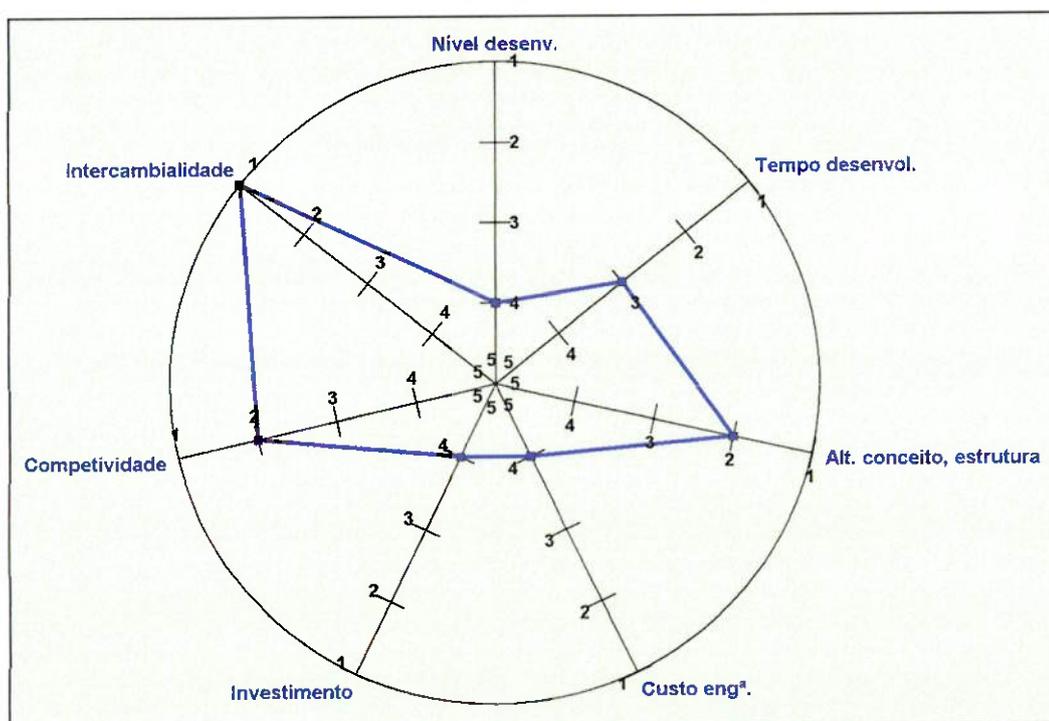


Figura 14 - Modelo II - Análise de variáveis de implementação de trem de válvulas de baixo atrito

CONCLUSÕES DO MODELO II

O gráfico resultante ilustrado na Figura 14, permite verificar:

- que as variáveis mais distantes da borda do gráfico (em maior intensidade no nível de desenvolvimento, no custo de engenharia e no investimento, e em menor intensidade no tempo de desenvolvimento), representam os obstáculos a implementação do projeto,
- para implementar o projeto considerando estes obstáculos, esforços devem ser direcionados para identificar mecanismos alternativos de verificação e validação do projeto, para reduzir os recursos necessários e o tempo,
- que o ganho em competitividade não possui impacto representativo em conceitos e estruturas, portanto sendo invisível ao cliente, ou seja, não demandando cuidado especial e
- que este modelo possui pontos distintos ao modelo anterior, como a implantação de óleo lubrificante

4.4.4 MODELO III - SOBREPOSIÇÃO DOS MODELOS I E II - ÓLEO LUBRIFICANTE MODIFICADO QUE REDUZ ATRITO NO MOTOR E SISTEMA DE ACIONAMENTO DE VÁLVULAS COM ATRITO REDUZIDO

Neste exercício serão sobrepostos os dois gráficos anteriores: óleo lubrificante modificado que reduz atrito no motor e sistema de acionamento de válvulas com atrito reduzido. Pretende-se comparar o resultado final de cada modelo, considerando as variáveis propostas por este trabalho e também analisar possibilidades de sinergias no desenvolvimento. A sinergia encontrada gerará um cenário resultante. Os dois modelos apresentados serão diretamente sobrepostos sobre os mesmos eixos do gráfico, resultando no gráfico conforme Figura 15.

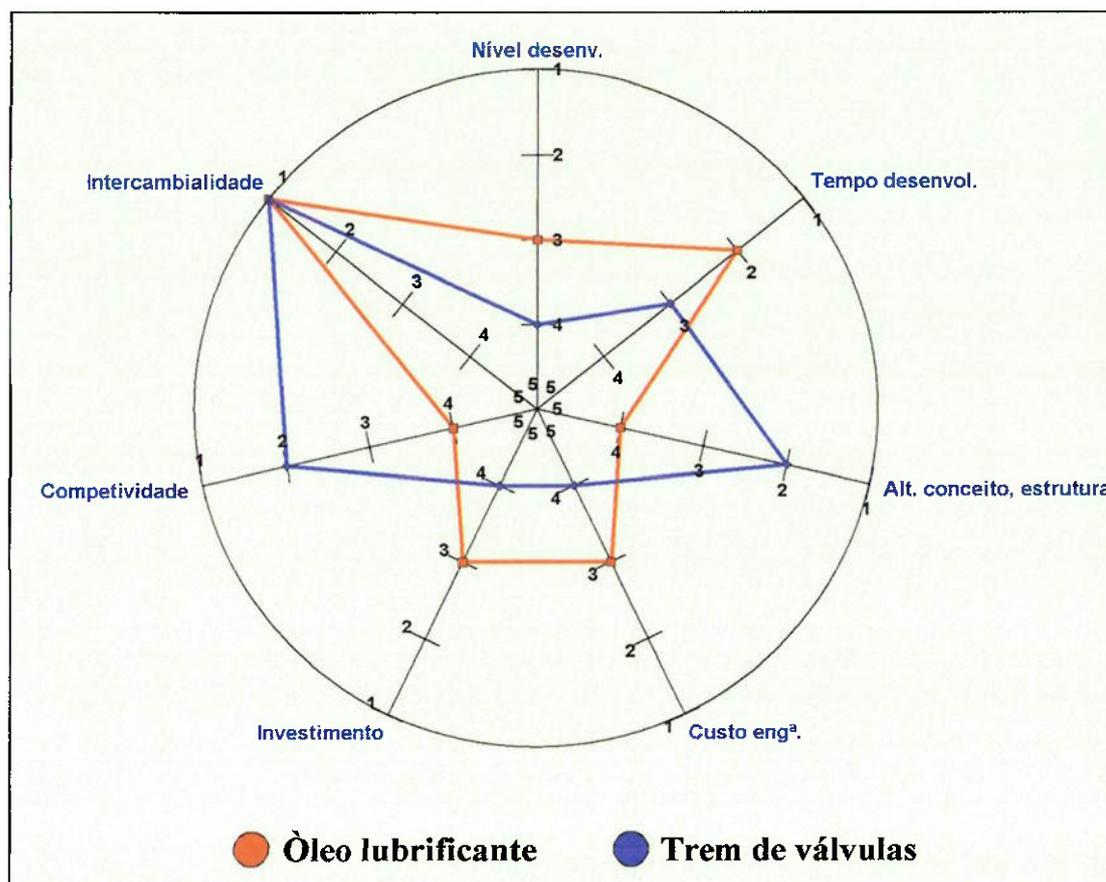


Figura 15 - Modelo III - Análise de variáveis de implementação dos modelos I e II sobrepostos

CONCLUSÕES DA SOBREPOSIÇÃO DE MODELOS E DEFINIÇÃO DA RESULTANTE DA SOBRE-POSIÇÃO

- Nível de desenvolvimento - sendo maior na implementação do trem de válvulas de baixo atrito. Observa-se que as ações para implementação do óleo lubrificante apesar de distintas, poderiam ser conduzidas em paralelo visto a maior estrutura de implementação do trem de válvulas já estar mobilizando recursos adicionais. Poderia ser estudado sinergia de parte da mão-de-obra e do material (motores, combustível, testes de motores e veículos de teste). Considerando a estrutura de projeto de implementação do trem de válvulas possuir potencial de absorver as atividades de implantação do óleo lubrificante, a nota resultante a ser considerada seria "4".

- Tempo de desenvolvimento - o tempo de desenvolvimento pode ser otimizado, sendo válidas para análise deste parâmetro os critérios mencionados no tópico anterior, onde a nota resultante dos dois casos seria "3".
- Alteração de conceito e estrutura - as tecnologias possuem impacto distinto não havendo, portanto sinergia neste parâmetro caso se implante as duas simultaneamente, permanecendo a nota mais crítica, "4".
- Custo de engenharia - sendo proporcional ao nível e ao tempo de desenvolvimento e com as sinergias estimadas resultariam na nota mais crítica, "4".
- Investimento - neste caso, os investimentos seriam somados porque não existem sinergias, permanecendo a nota mais crítica, "5".
- Competitividade - os ganhos estimativamente serão somados porque os resultados são independentes, resultando na nota "1".
- Intercambialidade - plena na mesma família de motores, resultando em economia de escala, "1".

Os dois modelos apresentados e o cenário resultante da implementação simultânea dos mesmos, serão diretamente sobrepostos sobre os mesmos eixos do gráfico, resultando no gráfico conforme Figura 16.

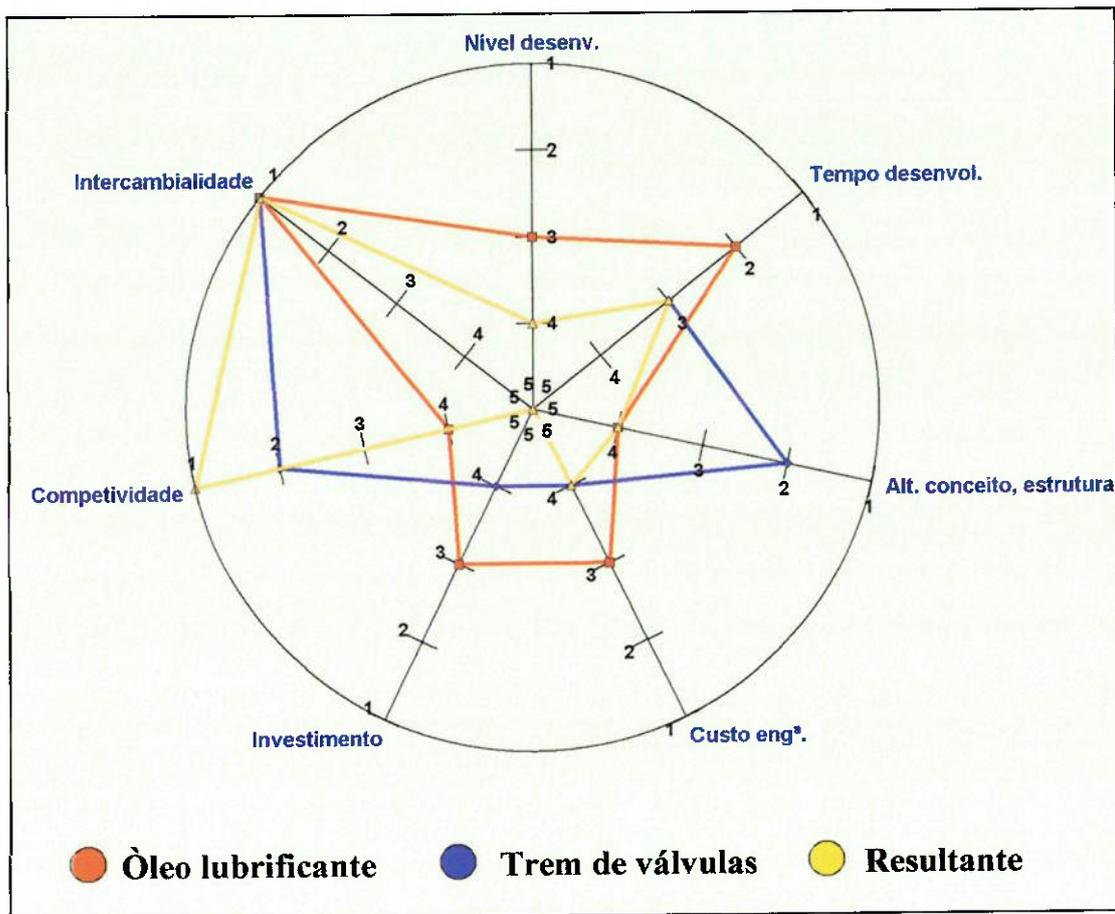


Figura 16 - Análise estimada da sobreposição da figura de implementação do óleo lubrificante e trem de válvulas e sua resultante

CONCLUSÃO RELATIVA À RESULTANTE DA SOBRE-POSIÇÃO DE MODELOS

Verifica-se pela linha resultante da Figura 16 (cor laranja), estimativamente que com recursos ligeiramente superiores que permitam o desenvolvimento simultâneo da implementação do óleo lubrificante e trem de válvulas de baixo atrito, obter maior ganho de competitividade. E o fator responsável é a correta seleção de tecnologias que ofereçam sinergia no desenvolvimento, otimizando os recursos.

4.4.5 MODELO IV - IMPACTO ESTIMADO DAS VARIÁVEIS NA IMPLEMENTAÇÃO DE CONJUNTO PISTÃO E ANÉIS DE SEGMENTO DE MENOR ATRITO, CONJUGADO AO ACABAMENTO DA CAMISA

Considerando os parâmetros de projeto e a seqüência de análise descritas no início deste capítulo:

- Nível de desenvolvimento requerido - "5", devido ao estudo de distorção dos cilindros em função da temperatura e processo, assim como com a compatibilidade do conjunto pistão e anéis com a camisa, que resulta no agrupamento de atividades descritas na Tabela 10: AM, SN, MP, TDE, TDU, CP e LE.
- Tempo de desenvolvimento requerido - "4", devido ao tempo de desenvolvimento, validação e exposição.
- Aplicação envolve grandes alterações em conceitos ou estruturas - "2", devido ao grau de inovação somente afetar o campo quanto a manutenção e ser invisível ao consumidor final.
- Custo total de engenharia - "4", devido à validação em bancada e no campo.
- Investimento em fábrica e/ou fornecedores - "4", devido ao investimento requerido na fundição do bloco e nos processos fabris.
- Competitividade prevista adequada, diante da concorrência ou expectativa do cliente - "2", devido a ser um ganho que situa o produto acima da maioria da média da concorrência.
- Intercambialidade - "1", devido a ser aplicação com elevada sinergia, função do nível de solicitação térmica e mecânica em motores de uma mesma família com densidade potência/cilindrada unitária próximas.

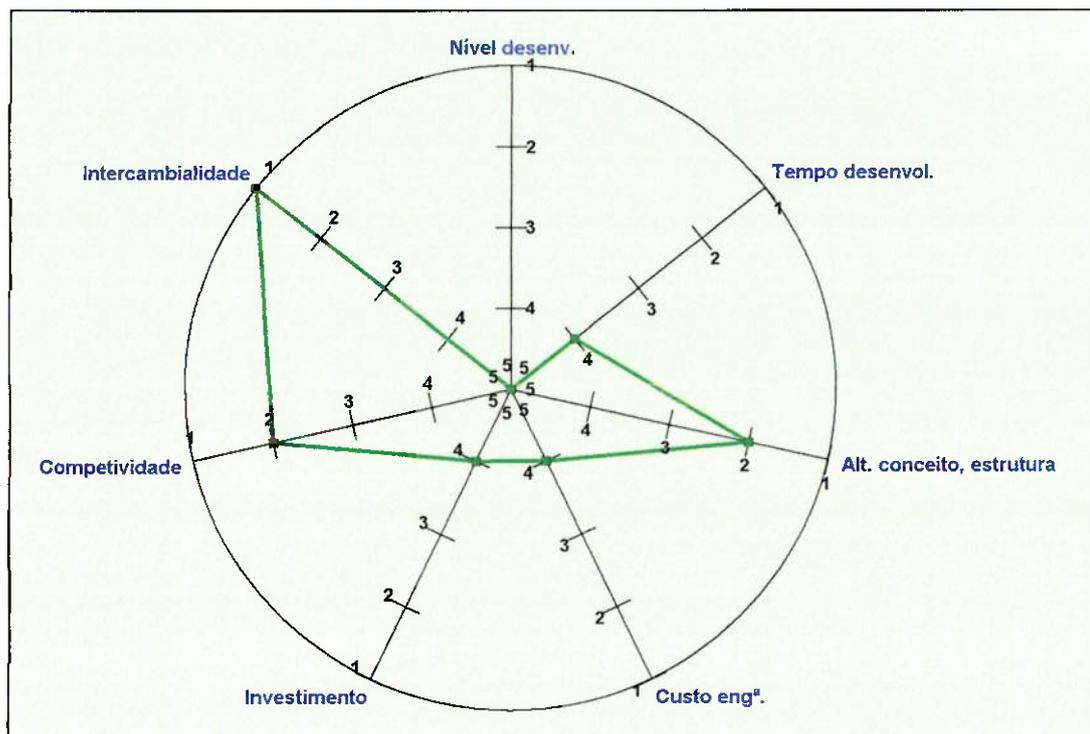


Figura 17 - Modelo IV - Análise de variáveis de implementação de conjunto pistão e anéis de segmento de menor atrito conjugado ao acabamento da camisa

CONCLUSÕES DO MODELO IV

O gráfico resultante demonstrado na Figura 17, permite verificar:

- que as variáveis mais distantes da borda do gráfico (nível de desenvolvimento, custo de engenharia, tempo e investimento), representam os obstáculos a implementação do projeto e os demais parâmetros demonstram grande competitividade, intercambialidade e baixo impacto em estruturas ou conceitos e
- que para implementar a proposta considerando estes obstáculos, esforços devem ser feitos para identificar mecanismos alternativos de verificação, validação de engenharia e produção da proposta para reduzir os recursos necessários e o tempo.

4.4.6 MODELO V - ÓLEO LUBRIFICANTE MODIFICADO QUE REDUZ ATRITO NO MOTOR; SISTEMA DE ACIONAMENTO DE VÁLVULAS QUE REDUZ ATRITO NO MOTOR E CONJUNTO PISTÃO E ANÉIS DE SEGMENTO DE MENOR ATRITO CONJUGADO AO ACABAMENTO DA CAMISA

O modelo V propõe a comparação entre os modelos do óleo lubrificante modificado que reduz o atrito no motor, o sistema de acionamento de válvulas que reduz o atrito no motor e o conjunto pistão e anéis de segmento de menor atrito conjugado ao acabamento da camisa. Nesta análise pretende-se comparar o resultado final de cada modelo, considerando as variáveis propostas por este trabalho e também analisando possibilidades de sinergias no desenvolvimento. Os parâmetros de cada modelo serão diretamente sobrepostos sobre os eixos do mesmo gráfico (vide Figura 18).

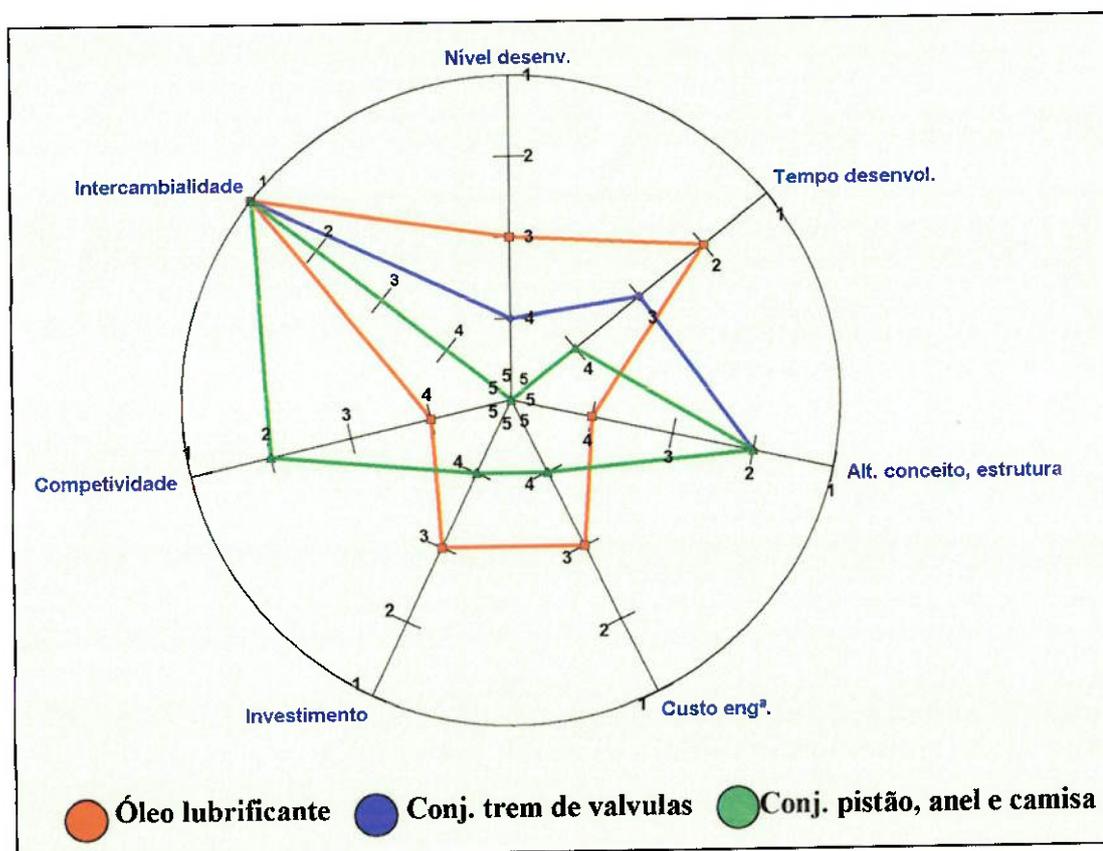


Figura 18 - Comparação entre os modelos I, II E IV

CONCLUSÕES RELATIVA A SOBREPOSIÇÃO DE MODELOS

Como as áreas do gráfico da Figura 18 se alternam, a identificação da melhor proposta requer análise ponto a ponto do gráfico para identificar a proposta que ofereça o melhor compromisso de projeto.

O entendimento por compromisso pode ser variado e a proposta do modelo deste trabalho considera que o melhor compromisso será obtido pela que tiver o maior número de variáveis próximas da borda do gráfico. Portanto, o melhor compromisso seria obtido com o óleo lubrificante e trem de válvulas devido a existirem maior número de variáveis próximas da borda do gráfico enquanto o conjunto pistão, anel e camisa estaria em segundo plano, pois suas variáveis estão logicamente mais distantes da borda do gráfico.

O termo compromisso, também pode ser aplicado de outra forma na análise dos gráficos deste trabalho, bastando definir novos critérios de análise.

Por exemplo, se a proposta desejada pelo fabricante precisa de desenvolvimento rápido e baixo custo, o melhor compromisso será atendido pelo óleo lubrificante.

4.4.7 MODELO VI - IMPACTO ESTIMADO DAS VARIÁVEIS NA IMPLEMENTAÇÃO COMANDO DE VÁLVULAS CONTINUAMENTE VARIÁVEL

Considerando os parâmetros de projeto e a seqüência de análise descritas no início deste capítulo:

- Nível de desenvolvimento requerido - "4", devido ao estudo de montagem do sistema e protótipos, validação do conceito e durabilidade, resulta no agrupamento de atividades descritas na Tabela 10: AM, MP, TDE, TDUCP, CP, LE.
- Tempo de desenvolvimento requerido - "3", devido às atividades de desenvolvimento.
- Aplicação envolve grandes alterações em conceitos ou estruturas - "4", devido ao grau de inovação somente afetar o campo quanto à manutenção.

- Custo total de engenharia - "4", devido as atividades mencionadas acima, dentre elas a validação solicitada em bancada e no veículo.
- Investimento em fábrica e/ou fornecedores - "3", devido ao investimento requerido na fundição/usinagem do cabeçote e nos processos fabris.
- Competitividade prevista adequada, diante da concorrência ou expectativa do cliente - "2", devido a ser um ganho acima da média, situaria o produto acima da maioria da concorrência.
- Intercambialidade - "1", devido a ser aplicação com grande sinergia dentro da mesma família de motores.

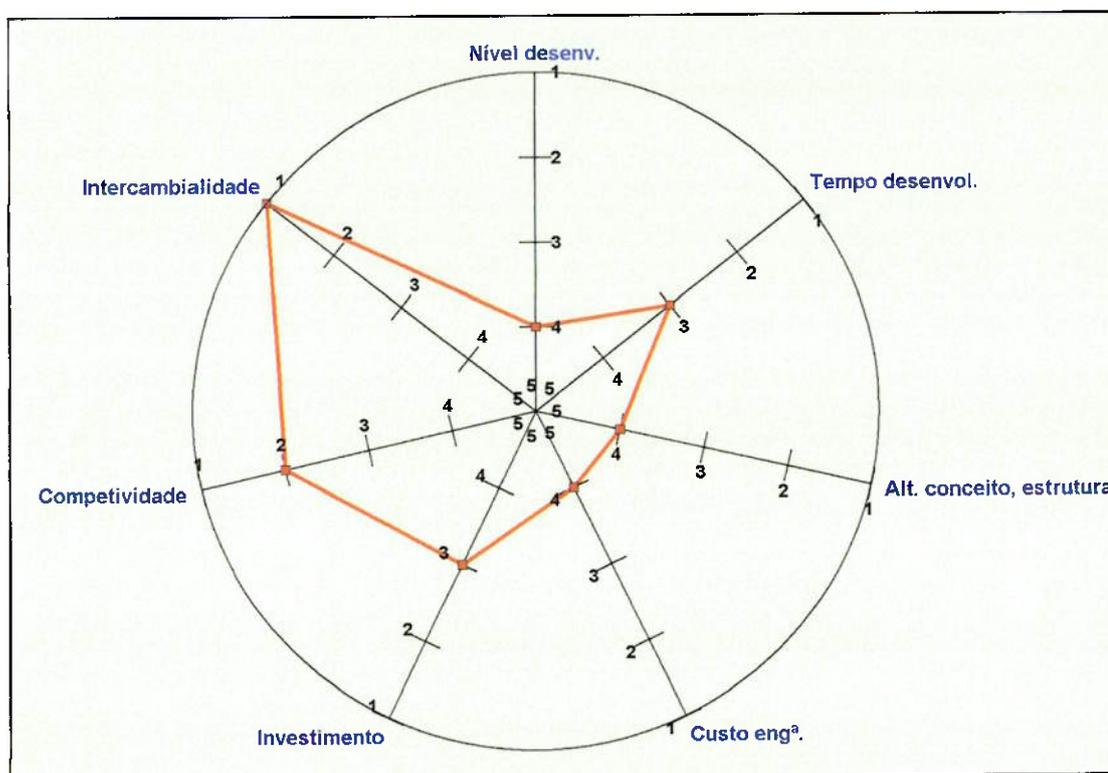


Figura 19 - Modelo VI - Análise de variáveis de implementação do trem de válvulas continuamente variável

CONCLUSÕES DO MODELO VI

O gráfico resultante ilustrado na Figura 19, permite verificar que esta proposta demanda recursos elevados para fornecer grande competitividade e intercambialidade aliados a baixo impacto em conceitos e estruturas.

4.4.8 MODELO VII - IMPACTO ESTIMADO DAS VARIÁVEIS NA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE GERENCIAMENTO ELETRÔNICO DO MOTOR AUTÔNOMO *

Considerando os parâmetros de projeto e a seqüência de análise descritas no início deste capítulo:

- Nível de desenvolvimento requerido - "3", devido ao estudo de montagem do sistema, protótipos, desenvolvimento, validação do conceito e durabilidade, resulta no agrupamento de atividades descritas na Tabela 10: AM, MP, TDE, CP, LE.
- Tempo de desenvolvimento requerido - "3", devido ao desenvolvimento requerido pelo *software* e *hardware* do processador, assim como pela calibração do motor e validação do sistema.
- Aplicação envolve grandes alterações em conceitos ou estruturas - "4", devido ao grau de inovação afetar o desempenho.
- Custo total de engenharia - "3", devido à validação solicitada em bancada e no veículo.
- Investimento em fábrica e/ou fornecedores - "3", devido ao investimento requerido no desenvolvimento pelo processador e pela calibração do motor.
- Competitividade prevista adequada, diante da concorrência ou expectativa do cliente - "1", devido a ser um ganho acima da média, situando o produto acima da concorrência.
- Intercambialidade - "1", considerando a intercambialidade da mesma calibração através de vários tipos de carrocerias. E "5" considerando que a aplicação é única ao conjunto motor e transmissão. Para efeito do exemplo será considerado a nota "1" demonstrando um mesmo conjunto motor, transmissão, conjunto embreagem aplicado a várias carrocerias de uma mesma família (*hatchback*, *notchback* e *perua*) de veículos.

* Sistema de gerenciamento eletrônico do motor autônomo é o sistema que independente da vontade do condutor do veículo, esta programado para desligar e ligar o motor e o sistema de ar-condicionado em determinadas condições.

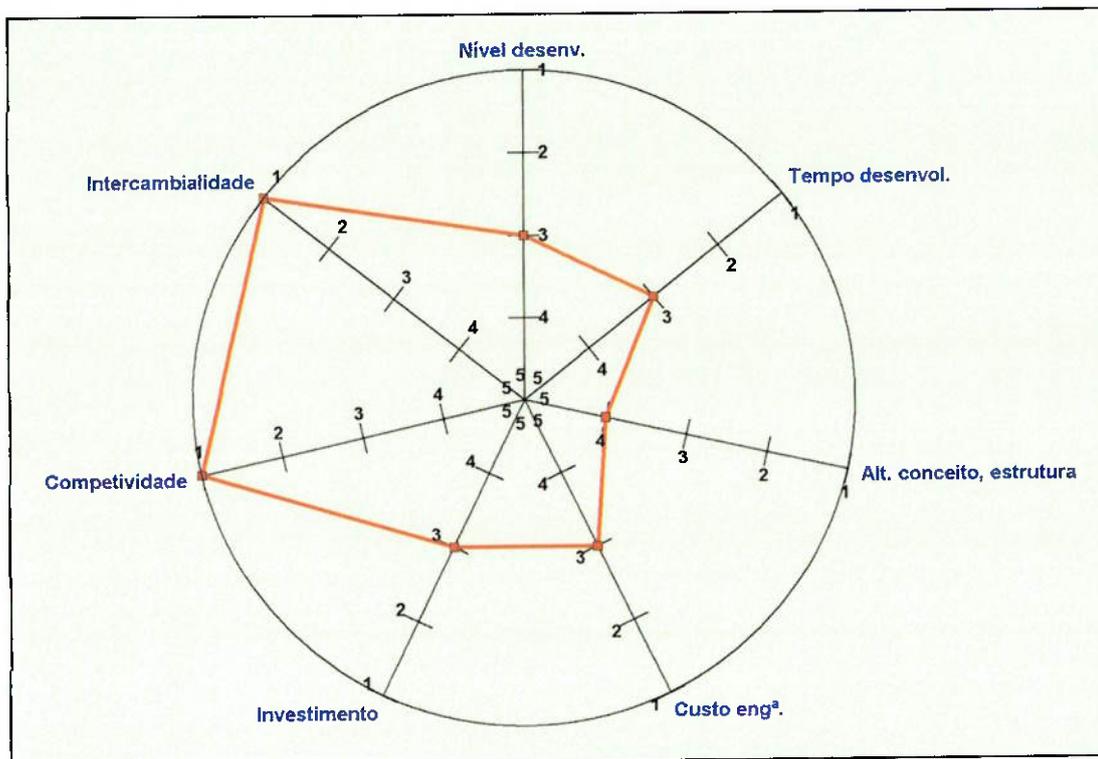


Figura 20 - Modelo VII - Análise de variáveis de implementação do sistema de gerenciamento do motor autônomo

CONCLUSÕES DO MODELO VII

O gráfico resultante ilustrado na Figura 20, permite verificar que esta proposta demanda recursos médios, para fornecer grande competitividade, intercambialidade, mas com alto impacto em conceitos e estruturas devido à autonomia do sistema de gerenciamento do motor interferir na forma de conduzir o veículo.

5 CONCLUSÕES

A primeira dificuldade do modelo é criar uma metodologia que permita análise e ponderação das principais sub-variáveis de cada item do gráfico e que gere a nota. Várias são as nuances de um desenvolvimento, portanto as sub-variáveis podem ter seu peso também alterado em função do requisito do projeto e do momento da empresa.

A proposta de análise tem por objetivo avaliar o desempenho da aplicação de nova tecnologia dentro de um contexto com a abrangência especificada e permitida pelo modelo.

Neste grau de abrangência, variáveis distintas foram colocadas em um mesmo plano:

- Nível de desenvolvimento requerido - tem efeito no recurso requerido, recursos humanos, nas instalações da empresa e no tempo de duração do desenvolvimento. Portanto, é uma variável que considera aspectos que resultaram em recurso monetário e estratégico (humanos e tecnológicos).
- Tempo de desenvolvimento requerido - variável que considera "tempo" somente.
- Alteração de conceitos e estrutura - pode ser considerado subjetivo, pois leva em consideração o livre arbítrio das pessoas responsáveis pelo uso e manutenção do produto, portanto é uma variável que considera aspectos "subjetivos".
- Custo de engenharia - relacionado com os recursos humanos, motores, veículos, equipamentos de testes, combustível, etc., portanto é uma variável que considera aspectos "monetários e financeiros".
- Investimento em fábrica e/ou fornecedores - variável que considera aspectos "monetários e financeiros".
- Competitividade - medida de desempenho do produto baseada nos resultados de desempenho, de aparência e da percepção do consumidor final, prevalecendo a percepção do consumidor, portanto é uma variável que considera aspectos "subjetivos".
- Intercambialidade - função do casamento físico de duas peças originalmente independentes, portanto é uma variável que considera aspectos "físicos e dimensionais".

Ou seja, variáveis distintas e com unidades diferentes. Um processo de tomada de decisão baseado exclusivamente em moeda, em que todas as variáveis disponíveis para a tomada de decisão se resumem nesta, pode ferir as variáveis que advêm da subjetividade, por exemplo.

Uma solução que exija poucos recursos para sua implantação pode ser benéfica para o eventual momento difícil de uma empresa, mas pode resultar em produto de características pouco competitivas ou com grande impacto em conceitos, portanto não desejável pelo cliente, o que justifica a análise conjunta de variáveis como moeda e as subjetivas. Portanto, independente das variáveis escolhidas como importantes para a tomada de decisão, se for considerado a vasta literatura existente sobre novas iniciativas, assim como a evolução do mercado, são identificadas variáveis com diferentes dimensões, cabendo ao grupo encarregado da elaboração das análises preparatórias para a tomada de decisão, escolher as que definam o ambiente do seu produto.

Voltando para as nuances de projeto o que inclui por exemplo a realidade econômica do país na qual a fábrica está situada ou a situação da empresa em termos de competitividade, a análise pode ser diferente da já efetuada. Até o momento o modelo propõe observar todas variáveis do gráfico em conjunto, mas quando por exemplo as variáveis econômicas ganham destaque, a observação do gráfico passa a ter maior enfoque naquelas associadas ao recurso econômico.

Portanto, da mesma forma que um produto com baixa aceitação no mercado devido ao consumo elevado contribuí com a queda nas vendas, este modelo teria como foco principal a competitividade e não o recurso econômico. E a busca desta maior competitividade poderia justificar emprego de altos recursos, pois o atendimento aos requisitos oriundos dela manterá o crescimento dos negócios da empresa.

5.1 AÇÕES SINÉRGICAS

Muitas atividades de desenvolvimento solicitam recursos similares em termos de recursos humanos e materiais, por exemplo. Portanto, podem acontecer

simultaneamente ou concatenadamente, ou seja, determinadas atividades dependem de recursos de engenharia similares, tais como um estudo de *packaging* (análise de montagem no próprio motor e do motor no veículo), ou uma nova calibração básica de motores e nova aplicação no veículo. Determinadas atividades demandam recursos nem sempre disponíveis devido as flutuações econômicas da empresa e a falta de reação desta, iniciando um novo projeto no momento requerido, podendo ser resumido em tempo perdido.

Tomar as decisões considerando um universo de variáveis concretas ou não, requer contínua análise dos objetivos da empresa, da situação do próprio produto diante da concorrência e principalmente da opinião do mantenedor, o cliente.

O aproveitamento das sinergias de projeto na tomada de decisão precisaria ser explorado estudando casos reais completos e não fragmentos como os encontrados nas literaturas, com a finalidade de encontrar o mecanismo de definição e mensuração dos ganhos das ações sinérgicas em um projeto.

5.2 EFICÁCIA DO MODELO PROPOSTO E PRÓXIMOS PASSOS

A definição do modelo encontra como maior dificuldade delimitar as variáveis mínimas dentro do ambiente do projeto de *powertrain*, permitindo o acompanhamento do processo e tomada de decisão. Poder mensurar estas variáveis, entender a relatividade de todos os processos envolvidos e que este ambiente delimitado permita obtenção de conclusões e o direcionamento desejado, é um desafio.

Se considerar os riscos envolvidos na tomada de decisão e a relatividade das variáveis dentro do contexto do projeto, existem no mínimo as seguintes questões não respondidas ou garantidas por este trabalho:

- Qual o grau de certeza de que as variáveis escolhidas são suficientes para suportar decisão adequada ?
- A ponderação proposta para definição das notas das variáveis consegue representar os vários cenários e nuances de um desenvolvimento ?

- Como quantificar a preponderância momentânea de uma variável sobre as outras (referência - momento econômico difícil) ?
- Qual metodologia garante mensurações seguras dos parâmetros definidos como subjetivos ?

É importante considerar que as simulações efetuadas no capítulo 4 tiveram a finalidade de demonstrar a funcionalidade do modelo, contando para isto com as informações disponíveis nas literaturas citadas.

A relatividade ou alternância do peso das variáveis é um fator difícil de ser definido, bem como qual abrangência deve ter a análise. Cada empresa possui objetivos, recursos disponíveis e linha de gerenciamento que resultam em variáveis eventualmente não mencionadas no modelo deste trabalho ou com graus de influência distintos. Contudo, o exercício até o momento executado com a finalidade de delimitar as variáveis escolhidas para avaliação e como ponderar as notas em função da proposta, já permite por si só um melhor entendimento das limitações do modelo e a complexidade do processo envolvido na tomada de decisão, mas não invalida a idéia ou conceito de que a tomada de decisão deve considerar outras variáveis além do recurso monetário envolvido. A metodologia proposta tem por objetivo direcionar a tomada de decisão através da combinação de variáveis existentes em um projeto, assim como permitir a observação das que eventualmente requeiram aprimoramento na sua execução, pois de outra forma estas estarão sempre sendo consideradas como os obstáculos ao desenvolvimento de qualquer proposta.

Como próximo passo, seria importante a aplicação prática do modelo em estudos (concluídos com resultados conhecidos) reais de uma empresa, utilizando as variáveis destes na metodologia proposta por este trabalho de curso. Este trabalho inicial teria o objetivo de tentar responder as questões acima expostas. A análise prática também permitiria calibrar ou verificar a representatividade da ponderação proposta neste trabalho.

6 LISTA DE REFERÊNCIAS

- [01] AU YEUNG, F.; HEYWOOD, J. B.; SHAFER A., *Future Light-Duty Vehicles? Predicting their Fuel Consumption and Carbon-reduction potential*, SAE Paper No. 2001-01-1081
- [02] BARTZ, W. J.; WIENECKE, D., *Influence of Gear Oil Formulation on Fuel Economy of Passenger Cars*, SAE Paper No. 2000-01-2050
- [03] CARIS, D. F.; NELSON, E. E., *A New look at High Compression Engines*, General Motors Corp.
- [04] CRAWFORD, A.; ELLIS, G.; FRASER. N., *Combining high performance with Euro IV capability in a Naturally Aspirated production engine*, SAE paper No. 2002-01-0335
- [05] COCKBILL B.; BENNETT, J., *The effects of crankcase oil viscosity on engine friction at low temperatures*, SAE paper Np. 2000-01-2052
- [06] FAHL M. E.; HASS A., *Potential for friction reduction on passenger car engines*, *Congres International S.I.A. Paris*, 1994
- [07] HAYASHI T.; KUMATA M.; AOKI K. *Reduction of Life Cycle CO2 Emissions – The Example of Honda Insight*, SAE Paper No. 2001-01-3722
- [08] HOFMANN, R.; LIEBL, J.; DR. KLUETING, M.; DR. FLIERL, R. , *180 The New BMW 4-cylinder gasoline engine – reduction of fuel Consumption without compromise*, SAE paper No. 2001-08-0043
- [09] KAMINSKI, P. C. , *Desenvolvendo produtos com Planejamento, Criatividade e Qualidade*, LTC – 1999

- [10] KAPUS, P. E.; DENGER, D.; HOLLAND, T., *Intelligent Simplification – Ways towards improved Fuel economy*, SAE paper No. 2002-01-0236
- [11] KUBSH, J. E. *Pushing the Envelope to Near-Zero Emissions on Light-duty Gasoline Vehicles*, SAE Paper No. 2001-01-3840
- [12] MADUREIRA, O. M., *Curso de dinâmica de veículos*, Poli – USP 2001
- [13] MASSARANI, M., *Qualidade em comunicação – Como transmitir, obter e transmitir informações*, Poli – USP 2001
- [14] MCFALL, D., *Strong Vibes on the VIB Fuel economy test, LUBES'SN'GREASES*, 5(10), September 1999
- [15] MENNE, R. J.; HEUSER, G.; MORRIS, G. D., *Potential of the New Ford Zetec SE engine to meet future emissions standard*, 1996
- [16] SHAYLER P. J.; CHICK J. P. *A method of predicting brake specific fuel Consumption maps*, SAE paper No. 1999-01-0556
- [17] SHAYLER, P. J, DARTON, N.J. *Predicting the fuel Consumption of the vehicles for drive cycles starting from cold ambient conditions*, 5th International congress Strasbourg 1995
- [18] TANAKA H.; NAGASHIMA, T.; SATO, T.; KAWAUCHI, S., *The effect of 0W-20 low viscosity engine oil on fuel economy*, SAE paper No. 1999-01-3468
- [19] TAYLOR, R. I. *Engine friction – the influence of lubricant rheology*, Fifth CEC International symposium on the performance evaluation of automotive fuels and lubricants, 1997

- [20] TAYLOR G. W. R., *Cold Start Impact on Vehicles Energy Use*, SAE Paper No. 2001-01-0221
- [21] TAYLOR, C. F. , *The Internal combustion engine in theory and practice*, Vol I, M.I.T., 1966
- [22] TAYLOR, C. F. , *The Internal combustion engine in theory and practice*, Vol II, M.I.T., 1968
- [23] TSEREGOUNIS S. I.; MCMILLAN M. L., *Fuel Economy Gains with Modern Technology, SAE 5W-20 Engine Oils in a GM Engine as Measured in the EPA FTP Test*, SAE Paper No. 2001-01-1900
- [24] TSUNEMOTO H.; ISHITANI H.; HATAKEYAMA H.; KOTAKA T. *Estimation of the Total Fuel Economy and CO2 Emission from Vehicles at the Center of Local City*, SAE Paper No. 2001-01-3759
- [25] Turner, D; ,,"*Open and shut case ?*", *Engine technology International*, June 2002
- [26] WALKER, L. C., *Effect of friction and pumping losses on FTP fuel economy*, General Motors Powertrain group, 1997
- [27] WIENECKE, D., *Influence of Lubricant Type and Composition on the level of temperature*, VW AG 1998
- [28] Legislações americanas relativas a testes de certificação veicular em emissão de poluentes. *United State Department of Energy and United States Environmental Protection Agency*.
Disponível em : <<http://www.epa.gov/otaq>>. Acesso em: 01 Jan. 2002.

- [29] Resultados de ensaios de certificação veicular de emissões e consumo de combustível no mercado europeu *Verband der Automobilindustrie* .
Disponível em : <<http://ww.vda.de/en/aktuell/kraftstoffverbrauch>>. Acesso em: 04 Jan. 2002.
- [30] Resultado de ensaios de certificação veicular de emissões e consumo de combustível no mercado europeu. VCA – Vehicle Certification Agency.
Disponível em: <<http://www.vca.org.uk>>. Acesso em: 04 Jan. 2002.
- [31] Informações técnicas sobre o *Honda Insight Ibrid car*.
Disponível em: <<http://www.insightcentral.net>>. Acesso em: 28 Mar. 2002.
- [32] Condução de veículos no inverno. *Office of Energy efficiency of Canada, The Challenges of Fuel-Efficient Winter Driving*.
Disponível em: <<http://www.oee.nrcan.gc.ca>>. Acesso em: 15 Jun. 2001.
- [33] *Environmental Protection agency, Light-duty automotive technology and Fuel economy trends – 1975 through 2001*, Report Nr. EPA 420-R-008.
Disponível em : <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 02 Fev. 2002.
- [34] Dados técnicos de veículos europeus e recomendações sobre a escolha de veículos para compra segundo seu desempenho em emissão de poluentes e consumo de combustível.
Disponível em: <<http://www.est-powershift.org.uk>>. Acesso em: 04 Mai. 2002.
- [35] Condução econômica de veículos.
Disponível em: <<http://www.fueleconomy.gov>>. Acesso em: 06 Set. 2001.
- [36] Sistema de acionamento de válvulas de atrito reduzido - Product and services\Engine products\Air controls.
Disponível em: www.automotive.eaton.com. Acesso em: 05 Mai. 2002.

- [37] Desempenho de veículos americanos e estrangeiros em consumo de combustível. *American council for and Energy-efficient economy, Environmental guide of cars and trucks* .
Disponível em: <<http://www.aceee.org/greenercars>>. Acesso em: 06 Set. 2001.
- [38] Impacto dos veículos automotores no meio ambiente. *Office for the study of automotive transportation from University of Michigan Transportation research Institute*.
Disponível em: <<http://www.osat.umich.edu>>. Acesso em: 18 Dec. 2001.
- [39] Dados relativos a produção e comercialização de veículos produzidos no Brasil. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.
Disponível em: <<http://www.anfavea.org>>. Acesso em: 11 Jul. 2002.
- [40] Dados relativos a comercialização de veículos importados. Associação Brasileira das Empresas importadoras de veículos automotores.
Disponível em: <<http://www.abeiva.com.br>>. Acesso em: 11 Jul. 2002.
- [41] Dados técnicos de veículos Mercedes-Benz.
Disponível em: <<http://www.mercedes-benz.com.br>>. Acesso em: 08 Abr. 2002.
- [42] Dados técnicos de veículos Ford.
Disponível em: www.ford.com.br . Acesso em: 08 Abr. 2002.
- [43] Dados técnicos de veículos Fiat.
Disponível em: <<http://www.fiat.com.br>>. Acesso em: 14 Jul. 2002.
- [44] Dados técnicos de veículos europeus.
Disponível em: <<http://www.quattroruote.it>>. Acesso em: 10 Jan. 2001.

- [45] Dados técnicos de veículos Volkswagen.
Disponível em: <http://www.volkswagen.com.br>. Acesso em: 27 Jul. 2002.
- [46] Dados técnicos de veículos Renault.
Disponível em: <http://www.renault.com.br>. Acesso em: 15 Set. 2001
- [47] Dados técnicos de veículos Peugeot.
Disponível em: <http://www.peugeot.com.br>. Acesso em: 15 Set. 2001.
- [48] Dados técnicos de veículos Chevrolet.
Disponível em: <http://www.chevrolet.com.br>. Acesso em: 08 Set. 2001.
- [49] Dados técnicos de veículos Citroen.
Disponível em: <http://www.citroen.com.br>. Acesso em: 08 Set. 2001.
- [50] Dados técnicos de veículos Toyota.
Disponível em: <http://www.toyota.com.br> . Acesso em: 08 Set. 2001
- [51] Access energy - The California energy comission.
Disponível em: <http://www.energy.ca.gov> . Acesso em: 12 Maio 2002
- [52] Canadian centre for pollution pevention_.
Disponível em: <http://www.c2p2.sarnia.com> . Acesso em 02 Jun. 2002.
- [53] Legislações relativas à segurança veicular.
Disponível em: <http://www.denatran.gov> - Departamento Nacional de Trânsito. Acesso em: 15 Jul. 2002.
- [54] Legislações relativas a emissão de poluentes.
Disponível em: <http://www.ibama.gov> - Instituto Nacional do Meio Ambiente. Acesso em: 11 Nov. 2001.

[55] Dados técnicos relativos a veículos brasileiros.

Disponível em: <<http://www.quatrorodas.com.br>>. Acesso em: 22 Jul. 2002.