



**FACULDADES
DOM BOSCO**

**RODRIGO LUIZ CUNHA RODRIGUES
RENAN FERNANDES DE CARVALHO**

**Modificação do roteiro de exaustão de caminhões com motorização (230 Cv), para o
roteiro de exaustão com motorização (190 Cv)**

Resende - RJ
2022

**ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DOM BOSCO
FACULDADE DE ENGENHARIA DE RESENDE
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**Rodrigo Luiz Cunha Rodrigues
Renan Fernandes de Carvalho**

**Modificação do roteiro de exaustão de caminhões com motorização (230 Cv), para o
roteiro de exaustão com motorização (190 Cv)**

Trabalho de Graduação apresentado à
Associação Educacional Dom Bosco,
Faculdade de Engenharia de Resende,
Administrativas e da Computação Dom Bosco
Curso de Engenharia Mecânica, como requisito
parcial para obtenção do diploma de Bacharel
em Engenharia Mecânica

Resende - RJ
2022

Catalogação na fonte
Biblioteca Central da Associação Educacional Dom Bosco – Resende-RJ

R696	<p>Rodrigues, Rodrigo Luiz Cunha</p> <p>Modificação do roteiro de exaustão de caminhões com motorização (230 Cv), para o roteiro de exaustão com motorização (190 Cv) / Rodrigo Luiz Cunha Rodrigues; Renan Fernandes de Carvalho - 2022. 60f.</p> <p>Orientador: Alexandre Roberto Soares</p> <p>Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à finalização do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Resende da Associação Educacional Dom Bosco.</p> <p>I. Engenharia. 2. Sistema de exaustão. 3. Caminhão. 4. Redução de custo. I. Carvalho, Renan Fernandes de. II. Soares, Alexandre Roberto. III. Faculdade de Engenharia de Resende. IV. Associação Educacional Dom Bosco. V. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 338.58(043)</p>
------	--



FACULDADES
DOM BOSCO

**RODRIGO LUIZ CUNHA RODRIGUES
RENAN FERNANDES DE CARVALHO**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

BANCA EXAMINADORA:

Prof. (o).: Me. ALEXANDRE ROBERTO SOARES
Orientador

Prof. (o).: Me. DINIZ FELIX DOS SANTOS FILHO
Membro da Banca

Prof.(o).: Esp. DIEGO DA SILVA CARVALHO
Membro da Banca

Novembro 2022

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, esposa e amigos que sempre nos incentivaram.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por estar sempre ao meu lado em vários momentos difíceis em minha vida, com muita fé, determinação e amor fui conseguindo tirar as pedras no meu caminho.

A minha tão amada e sonhada esposa, que sempre esteve no meu lado acreditando no meu potencial, me guiando, me ajudando de todas as formas possíveis.

Aos meus pais, por terem me dado o dom da vida e também por terem dado uma educação ímpar, sou um homem altamente responsável devido a esta base sólida.

Ao amigo Renan Fernandes, por ser um grande companheiro nesses 5 anos de estudos e uma dupla exemplar no TCC.

Muito obrigado!

Rodrigo Luiz Cunha Rodrigues

Com gratidão, dedico este trabalho a Deus, pois ele é o maior orientador da minha vida. Ele que nunca me abandonou nos momentos de necessidade e, por isso devo a ele tudo o que sou.

Agradeço minha família pelo apoio e incentivo dedicados em todos os momentos de minha vida e, principalmente aos meus pais que me educaram sempre mostrando os caminhos corretos da vida.

A todos os professores pelos conhecimentos compartilhados e ao meu amigo Rodrigo Rodrigues, parceiro de TCC e de grandes conquistas na faculdade.

Meu muito obrigado!

Renan Fernandes de Carvalho

"Só sei que nada sei." (Sócrates)

RESUMO

O comércio brasileiro de veículos vem superando uma recente crise e aos poucos voltando a crescer. Com isso, há cada vez mais a necessidade de otimização dos produtos por parte das empresas, onde o foco se volta para as reduções de custos, a fim de se manterem competitivas no mercado. A Engenharia de Pré-Desenvolvimento (EPD) é uma das áreas que contribui para tal processo, através da utilização de softwares de análise e modelagem virtual no desenvolvimento de propostas, onde se descartam os gastos desnecessários com projetos prematuros, exercendo uma espécie de validação antes de qualquer teste físico. Neste trabalho analisou-se um estudo de caso, dentro de uma empresa multinacional de grande porte, onde além de uma pesquisa documental, demonstrar a importância da redução de custo para a empresa e ao mesmo tempo expondo o papel fundamental que a EPD desempenha para o atingimento do tal objetivo. As ferramentas de CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer Aided Engineering) e CAM (Computer Aided Manufacturing) foram essenciais para o desenvolvimento de produto e salientaremos sua importância para a pesquisa, acrescentado que foram aplicadas análises de FMEA e DFMEA, ferramentas de grande importância devido ao direcionamento preventivo que se dá em relação as falhas que no futuro poderão ocorrer no projeto. Os resultados finais alcançados foram satisfatórios, com a modificação do roteiro de exaustão de um modelo de caminhão com motorização de (230Cv) para o roteiro de exaustão de outro modelo de caminhão com motorização de (190Cv), gerando uma redução de custo de R\$ 49,56 no valor unitário de um componente multifuncional, além de simplificar a montagem do mesmo. Portanto, com a ajuda de softwares de análise e modelagem adequados, conseguiu-se melhorar e reduzir o custo de modo a contribuir para o aumento da competitividade da empresa no mercado.

Palavras-chave: Otimização. Reduções de custos. Engenharia Pré-Desenvolvimento.

ABSTRACT

The Brazilian vehicle trade has been overcoming a recent crisis and recovering gradually. Therefore, there is an increasing need for product optimization by companies, focusing on cost reduction, to remain competitive on business. Pre-Development Engineering (PDE) is one of the areas that most contribute to this process. It contributes through the use of virtual analysis and modeling software on development propose, discarding unnecessary expenses with premature projects exercising a kind of validation before any physical test. Our project analyzed a case study in a large multinational company, in which besides a documental search, it demonstrates the importance of cost reduction to the company while exposes the key role that the PDE plays to achieve this objective. Tools as CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer Aided Engineering) and CAM (Computer Aided Manufacturing) are essential to product development and their importance to the research will be emphasized, adding that FMEA and DFMEA analyzes were applied, tools of great importance due to the preventive direction that is given in relation to failures that may occur in the project in the future. Final results achieved were satisfactory through exhaustpipe line modification of Constellation 17.230 (230Hp) and 17.190 (190Cv) program, resulting in a R\$49,56 cost reduction per unity of a multifunctional component and in addition it simplifies its assembling. Therefore, by the use of adequate analysis and modeling software, it was possible to improve and reduce costs in order to contribute to the increase of the company's competitiveness in the market.

Keywords: Otimization; Low Cost; Pre-Development Engineering.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Ilustração de um cabeçote de um motor de quatro cilindros.....	23
Figura 2 — Diversos tipos de válvulas para motores de combustão interna.....	23
Figura 3 — Eixo de came ou comando de válvulas de um motor a combustão interna	24
Figura 4 — Bloco de um motor de combustão interna com indicações de montagem dos seus principais periféricos.....	25
Figura 5 — Árvore de manivelas ou virabrequim de um motor a combustão interna.....	25
Figura 6 — Biela de motores a combustão interna.....	26
Figura 7 — Pistão com ranhuras na cabeça para montagem dos anéis de segmento.....	27
Figura 8 — Ilustração dos anéis de segmento dos motores de combustão interna..	27
Figura 9 — Carter do motor junto com os pistões, virabrequim e volante do motor.	28
Figura 10 — Fluxograma do processo de aprovação da ideia de redução de custo.	30
Figura 11 — Sistema de escapamento completo de um veículo XX Euro5	31
Figura 12 — Ilustração de um motor XX Euro 5 completo.....	33
Figura 13 — Tubo Primário de um sistema de exaustão de um motor EURO5.....	34
Figura 14 — Tubo Intermediário de um sistema de exaustão de um motor EURO5	34
Figura 15 — Suporte tubo primário de um sistema de exaustão de um motor EURO5	35
Figura 16 — Tubo flexível de um sistema de exaustão de um motor EURO5	35
Figura 17 — Desenho do tubo primário dos motores (190 Cv) EURO5.....	36
Figura 18 — Pontos de fixação do tubo primário dos motores(190 Cv) EURO5.	37
Figura 19 — Desenho do tubo primário dos motores (230 Cv) EURO5..	38
Figura 20 — Pontos de fixação do tubo primário dos motores de (230 Cv) EURO5.	38
Figura 21 — Análise digital mockup ilustrando a montagem dos componentes do sistema de exaustão.....	42
Figura 22 — Tubo primário dos motores de (190 Cv) EURO5.	43
Figura 23 — Tubo primário dos motores (230Cv) EURO5.....	44
Figura 24 — Comparação dos tubos primários dos motores (190 Cv) X (230 CV) EURO5..	44
Figura 25 — Try out efetuado na linha de produção com o tubo primário dos motores (190 Cv) no motor de (230 Cv).	49
Figura 26 — Plano de montagem da linha de produção dos motores (230 CV) com os componentes dos motores (190 Cv).....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Evolução limites de emissões ao longo dos anos	29
Tabela 2 — FMEA do sistema de exaustão dos motores (230 Cv).	46
Tabela 3 — Análise de custo dos componentes de exaustão da implementação da ideia de redução de custo.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Desenho Assistido por Computador
CAE	Engenharia Assistida por Computador
CFD	Dinâmica Computacional de Fluidos
CV	Cavalos (Potência dos Motores)
DFMEA	Design Failure Mode and Effects Analysis
DMU	Digital Mockup
EDC	Controle Eletrônico de Diesel
EEV	Normas regulamentadoras para redução de emissão de poluentes
EGR	Recirculação Externa de Gases
EPD	Engenharia Pré Desenvolvimento
EURO 5	Normas regulamentadoras para redução de emissão de poluentes
EURO 0	Primeira norma sobre as emissões de poluentes dos veículo
FEA	Análise de Elementos Finitos
FMEA	Análise de modo e efeito de falha
MCI	Motores de Combustão Interna
MDB	Dinâmica de Multicorpos
NPR	Número de Propriedades de Riscos
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
Proconve P7 automotores	Programa de controle de poluição do ar por veículos
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

LISTA DE SÍMBOLOS

pW/m^2

Picowatt por metro quadrado

W/m^2

Watt por metro quadrado Kelvin

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivos gerais	18
2.2	Objetivos específicos	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	Principais componentes dos motores a combustão interna	22
3.1.1	Cabeçote	22
3.1.2	Válvulas	23
3.1.3	Comando de válvulas	23
3.1.4	Bloco do motor	24
3.1.5	Árvore de manivelas	25
3.1.6	Bielas	26
3.1.7	Pistões	26
3.1.8	Anéis de segmento	27
3.1.9	Cárter do motor	28
3.2	Legislação euro5	28
3.3	Proconve P7	29
3.4	Evolução limites de emissões veículos pesados	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1	Características técnicas motores xx	32
4.2	Componentes sistema de exaustão	33
4.2.1	Tubo primário	33
4.2.2	Tubo intermediário	34
4.2.3	Suporte	34
4.2.4	Tubo flexível	35
4.3	Análise de geometria dos tubos primários	35
4.3.1	Geometria tubo primário motores (190 Cv)	36
4.3.2	Geometria tubo primário motores (230 Cv)	37
4.4	Ferramentas cad e cae	39
4.5	Engenharia de pré desenvolvimento	41
4.6	Comparação dos componentes	43
4.6.1	Tubo primário - Motores (190 Cv)	43
4.6.2	Tubo primário - Motores (230 Cv)	43
4.6.3	Tubo primário motores 190Cv X 230Cv	44
4.7	FMEA E DFMEA	45
4.8	Análise técnica de custos	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1	Try out (tentativa de montagem)	49
5.2	Plano de montagem	50

6	CONCLUSÃO	52
7	INDICAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	53
	REFERÊNCIAS	54
	GLOSSÁRIO	57
	ANEXO A — Funcionamento dos motores a diesel	58

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho se baseia em uma implementação de melhoria de montagem do sistema de exaustão dos motores (230 Cv) de uma determinada fábrica do ramo automobilístico do mercado brasileiro situada na Região Sul Fluminense, demonstrando o processo de análise de custos, plano de montagem dos novos componentes e a implementação da montagem do novo sistema de exaustão.

Com a constante evolução dos motores de combustão interna (MCI), abre-se oportunidade de novos projetos de montagens, que podem ter como foco na melhoria de montagem e na redução de custos, sendo este último um dos mais desejáveis entre as fábricas, principalmente devido a oportunidade de maior lucratividade durante a fabricação do produto. Neste trabalho será demonstrada uma ideia originária de redução de custo que resultou em uma melhoria de processo de montagem, ocasionando o duplo benefício para o processo de fabricação.

Sabe-se que, com o passar do tempo, cada vez mais os motores de combustão interna (MCI) ficam menores, mais simples e mais potentes, com esse pensamento ao longo do ciclo de vida do motor em questão deste trabalho, irá ser apresentada uma importante mudança de um motor de origem europeia, que sofreu ao longo do seu desenvolvimento algumas adaptações para o seu melhor funcionamento em território brasileiro, será dada ênfase à retirada do *interstage* onde até então era essencial para o funcionamento do motor na Europa, quando sua função era diminuir a temperatura do fluxo de ar da primeira turbina para a segunda turbina, entregando assim um ar com a temperatura ideal para o segundo estágio do sistema de admissão, com isto no Brasil viu-se uma oportunidade de retirar este componente, por ser uma peça de função de arrefecimento de uma região específica do motor e também onde tinha-se a necessidade do uso de fluido de arrefecimento indicado pelo fabricante, restringindo ao máximo a ação do campo, o valor do componente era muito caro e também seu peso era relativamente alto devido ao seu tamanho, que se localizava entre o cárter e o bloco do motor.

Através de testes efetuados na fábrica e no campo com outros tipos de fluidos de arrefecimento mais em conta, começaram a aparecer algumas falhas, mais especificamente nos ônibus, como oxidação interna na peça, aparições de furos oriundos das oxidações, porém esta segunda falha era mais grave, pois acabava se

resultando na mistura entre o fluido de arrefecimento com óleo lubrificante do motor, ocasionando na maioria das vezes em calço hidráulico ou perda total do motor. O *interstage* era tido como uma solução europeia, pois no continente europeu, as condições climáticas tendem a ser frias, podendo se tomar como referência algumas regiões que tem a existência de neve densa, já no Brasil pode-se observar um clima tropical menos agressivo para o sistema de admissão, resultando em um valor de aquecimento de fluxo de ar não tão relevante para a segunda turbina, abrindo-se uma oportunidade de redução de custos e simplificação do sistema de exaustão através da retirada do *interstage*.

Com isso, este trabalho terá o intuito de apresentar, uma proposta de redução de custos juntamente com uma melhoria no processo de montagem no sistema de exaustão de um tipo de motorização de uma fábrica do ramo automobilístico brasileiro.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Melhorar o sistema de exaustão dos caminhões com motorização de (230 CV), com a utilização de componentes já existentes na linha de produção visando economia.

2.2 Objetivos específicos

Efetuar a montagem de componentes do sistema de exaustão dos caminhões com motorização de (190 CV), nos caminhões com motorização de (230 CV), com o intuito de simplificar o sistema. Através de uma análise descritiva sobre a ideia proposta, iremos mostrar a viabilidade de montagem das peças específicas, análise orçamentária e ciclo de aprovações para a implementação da ideia.

Atingir uma redução de custo através da montagem dos componentes do sistema de exaustão dos caminhões com motorização de (190 Cv), nos caminhões com motorização de (230 Cv), com o intuito de demonstrar através de valores a redução de custos que será atingida através da montagem dos componentes dos caminhões com a motorização (190 Cv).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os tubos de escape devem ser cuidadosamente projetados, já que o sistema de exaustão é usado para guiar os gases de exaustão de reação para longe de uma combustão devidamente controlada dentro de um motor, onde deve ser transportados gases tóxicos e/ou nocivos para bem longe dos usuários da máquina, mas claro que pensando também no meio ambiente.

O sistema de exaustão do veículo não só atua na direção e no fluxo dos gases produzidos pela combustão do combustível, mas também na redução do ruído, pois esse fluxo promove ondas de pressão podendo gerar possíveis distúrbios, no qual se dá as emissões sonoras. Sendo assim, se faz necessário a utilização do silenciador que fica localizado no duto de exaustão para minimizar a poluição sonora (BLAIR, 1999).

Visando especificamente diminuir a complexidade da montagem do sistema de exaustão (e conseqüentemente obter uma redução de custo), visto que não afetaria outras questões como o nível de ruído, a modificação foi apenas do tubo primário, no qual possuía uma diferença de curvatura entre os dois modelos. Sabendo que a adição de um outro objeto no percurso de exaustão poderia afetar diretamente o escoamento dos gases, assim, podendo gerar uma perda de carga oriunda da implementação desse possível componente (KINSLER 2000). O nível e intensidade sonora, proveniente do escoamento dos gases, de acordo com Blair (1999), constitui de um conjunto de ondas de pressão de amplitudes variadas as quais propagam pelo meio em questão, geralmente o ar. Amplitude do som que é expressa comparando seu nível de intensidade em uma escala logarítmica com o "limiar auditivo" (KINSLER, 2000).

Uma vez que os níveis emitidos pelo sistema de escapamento são verificados conforme procedimentos como NBR 9714 - Ruído emitido por veículos automotores parados - Método de ensaio, que envolve a medição da intensidade e altura do som (ou timbre e nível de ruído). De acordo com Blair (1999) o nível de intensidade capaz de ser captado pelo órgão de audição humana está circunscrito na faixa de 1 pW/m^2 a 1 W/m^2 , visto que a capacidade humana de audição está na faixa de frequência de 20 Hz a 20 kHz, sendo que o valor extremo superior vai naturalmente reduzindo com o avanço da idade.

Em relação às medidas dos dutos, com a frequência de corte, é possível calcular o diâmetro dos tubos de exaustão primários, tubos no qual são ligados diretamente aos cilindros e, em seguida, o do tubo principal que liga os outros tubos de escape (Bell, 1981) que propõe uma determinada equação para o feito. Os veículos tradicionais são predominantemente equipados com motores de quatro cilindros, que possuem seus próprios tubos de escape separados. Segundo Bell (1981), o objetivo principal de um sistema de exaustão adequadamente dimensionado é evitar o retorno das ondas de pressão do sistema de combustão após um ciclo do motor, evitando assim os períodos de cruzamento das válvulas. Em motores com maior volume de câmara de combustão deve-se ser retirado uma maior massa no interior do mesmo, de modo a direcioná-la ao sistema de exaustão no mesmo período de tempo de abertura de válvula. Dessa maneira, requer-se maiores diâmetros para que seja possível eliminar todos os gases de queima os direcionando para a atmosfera.

Para o motor de combustão interna, é importante ter o sistema de exaustão bem ajustado para obter a eficiência ideal. Consequentemente deve também atender às normas regulamentares mantidas em cada país. Como na China, China 5, na Índia, BS-4, nos países europeus, EURO 5, dentre outras.

Segundo (SIMÕES, 2005) ao longo dos anos as empresas vêm competindo de maneira forte umas com as outras, vencendo vários obstáculos existentes no mercado internacional que é altamente competitivo, devido ao aumento de exportações.

Ainda de acordo com (SIMÕES, 2005):

Tal tendência é evidenciada em diferentes segmentos, dentre os quais, destaca-se o mercado automotivo, que atualmente conta com uma infinidade de modelos de veículos. No Brasil, nacionais e importados, cada qual com suas particularidades, diferenciais tecnológicos e principalmente com seu preço, disputam lado a lado a preferência dos consumidores. Os consumidores, por sua vez, buscam qualidade a um baixo custo.

Com este pensamento está sendo observado no mercado automobilístico uma grande batalha, com um único intuito: fornecer produtos com uma qualidade igual ou melhor para atender sempre as necessidades dos clientes da melhor forma possível e com um custo mais baixo possível, aumentando assim de uma certa forma o lucro da empresa.

Diante desta necessidade de atender aos dois pólos no mercado, cliente e empresa, a modificação do sistema de exaustão dos motores (230 Cv) com o uso de componentes mais baratos, mas com a mesma qualidade e robustez dos motores 190 (Cv) foi implementada, segundo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002) seguindo os métodos básicos de pesquisa de valor que são: redução de quantidade de componentes, montagem de peças mais baratas e simplificação do sistema para otimização do tempo na hora da montagem do produto, tal prática tornou-se essencial para o desenvolvimento de produtos, pois com o avanço tecnológico, juntamente com a ampliação de tipos de matérias primas fez com que o setor de compras começasse a criar alguns questionamentos referente aos custos, com intuito de reduzi-los, mas mantendo ou aumentando sempre a sua qualidade. Tal atividade fez com que a engenharia se aproximasse mais da análise de custos dos componentes em desenvolvimento, batizando assim esta prática de engenharia de valor ou análise de valor.

Abaixo observa-se alguns procedimentos de análise de valor segundo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002):

- Escolha do produto. Seleção de um produto que pode ser aperfeiçoado.
- Coleta de dados. Levantamento de informações referente ao desenvolvimento: fluxogramas, características do material, desenhos, análise de custos etc.
- Definição de aplicações. Direcionar de uma forma assertiva a aplicação de cada componente no produto, de uma forma geral.
- Geração de possibilidades. Etapa criativa, geralmente esta tem a participação de toda a equipe para a geração de máximo de ideia possível.
- Avaliação das possibilidades. Realizar uma auditoria das opções, com objetivo de alcançar sempre uma melhora;
- Escolha de opção. Escolher uma opção, que atenda a demanda do projeto em desenvolvimento, para obter a aprovação juntamente com a engenharia.
- Implementação. Implementar as mudanças no projeto, informando as especificações técnicas da alteração.

Finalizando o conceito (SIMÕES, 2005) explica que a indicação dos requisitos que o mercado consumidor irá arcar, pode ser denominado engenharia de valor. Através desta ferramenta na fase de desenvolvimento que é almejado o alcance da qualidade requisitada pelos consumidores, reduzindo os custos e agregando valores nas características dos produtos.

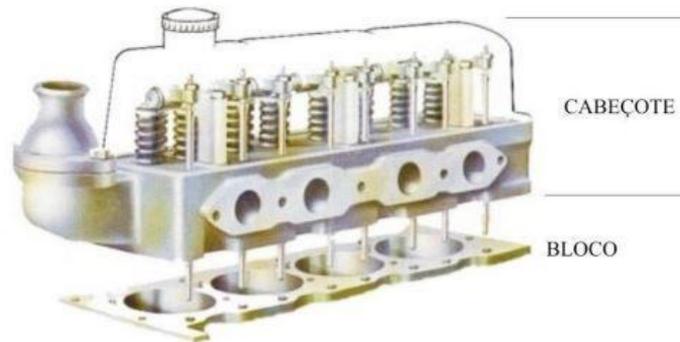
3.1 Principais componentes dos motores a combustão interna

A formação base dos motores de combustão interna tem vários componentes essenciais, suas finalidades é fazer com que o motor se torne o mais eficiente e confiável possível. Seu mecanismo de funcionamento é a transformação dos movimentos alternativos dos pistões em movimento rotativo da árvore de manivelas, de modo que se transmita a energia mecânica aos equipamentos acionados, logo podemos verificar a subdivisão dos motores referenciando os principais componentes abaixo:

3.1.1 Cabeçote

O cabeçote fica localizado na parte superior do motor, e é conhecido também como tampão, devido ao fato do mesmo vedar o cilindro exercendo sua principal função que junto a cabeça do pistão formar a câmara de combustão. Sendo importante ressaltar que o cabeçote possui outras funções como a de alojar válvulas, sedes de válvulas, guias de válvulas, suporte roscado para as velas de ignição e os bicos injetores. Os primeiros cabeçotes de motores resfriados a água geralmente eram fabricados em ferro fundido, mas devido a questões físicas/químicas e claro pensando na redução de peso, as ligas de alumínio e o próprio alumínio tornou-se o principal composto para fabricação de cabeçotes, como mostra figura 1 seguinte:

Figura 1 — Ilustração de um cabeçote de um motor de quatro cilindros.



Fonte: CONSTITUIÇÃO DOS MOTORES.

3.1.2 Válvulas

Feitas em aço ao níquel, cromo, cromo-níquel ou tungstênio as válvulas são fundamentais para o sistema sendo que os motores de combustão interna automotivos possuem pelo menos duas delas, onde uma é de admissão e outra de escape. As mesmas controlam a entrada e saída de gases no cilindro, como mostra figura 2 seguinte:

Figura 2 — Diversos tipos de válvulas para motores de combustão interna.



Fonte: CONSTITUIÇÃO DOS MOTORES.

3.1.3 Comando de válvulas

A árvore do comando de válvulas controla a entrada de ar (injeção direta) ou da mistura ar/combustível (injeção no coletor) e saída dos gases de escapamento, ou

seja, faz o controle da abertura e fechamento das válvulas de admissão e descarga. Ela é conhecida também como eixo de cames e seu acionamento é feito pela árvore de manivelas (virabrequim), onde o acionamento pode ser feito por uma correia de borracha, corrente ou por engrenagens, como mostra figura 3 seguinte:

Figura 3 — Eixo de cames ou comando de válvulas de um motor a combustão interna

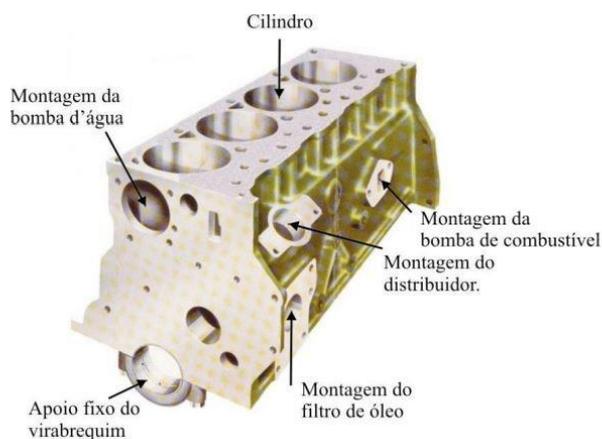


Fonte: 289 Alto Desempenho (2016).

3.1.4 Bloco do motor

É a principal peça do motor. Quase todos os componentes existentes no motor são ligados direta ou indiretamente a ele. Sua composição é de metal fundido, sendo normalmente de uma liga de ferro ou alumínio, como mostra figura 4 seguinte:

Figura 4 — Bloco de um motor de combustão interna com indicações de montagem dos seus principais periféricos

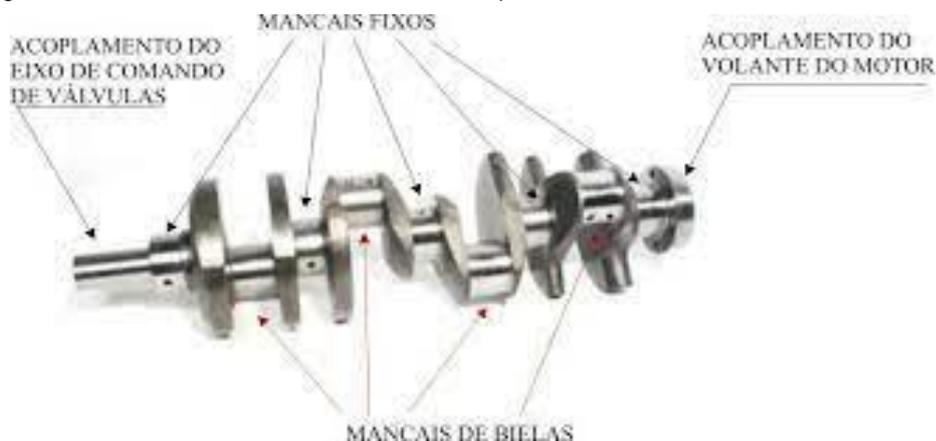


Fonte: CONSTITUIÇÃO DOS MOTORES Varella.

3.1.5 Árvore de manivelas

Conhecido também como virabrequim tem a função de exercer a conversão do movimento vertical do pistão em movimento rotacional. Através da rotação o eixo de manivelas fica girando dentro do cárter, transmitindo energia mecânica para os pistões, como mostra figura 5 seguinte:

Figura 5 — Árvore de manivelas ou virabrequim de um motor a combustão interna.

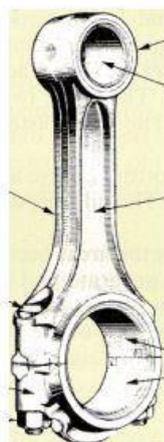


Fonte: CONSTITUIÇÃO DOS MOTORES.

3.1.6 Bielas

Tem a função de transmitir o movimento para o pistão através da energia oriunda da combustão até ao eixo de manivelas na expansão. A biela faz com que o pistão entre em movimento nos processos de exaustão, admissão e compressão. Seu arranjo mecânico é através de uma haste composta por dois furos nas extremidades, sendo conectada ao pistão por um pino que passa em um furo menor. A formação do furo maior é feita por um mancal fixado por parafusos, envolvendo um dos pinos do eixo de manivelas, como mostra figura 6 seguinte:

Figura 6 — Biela de motores a combustão interna.

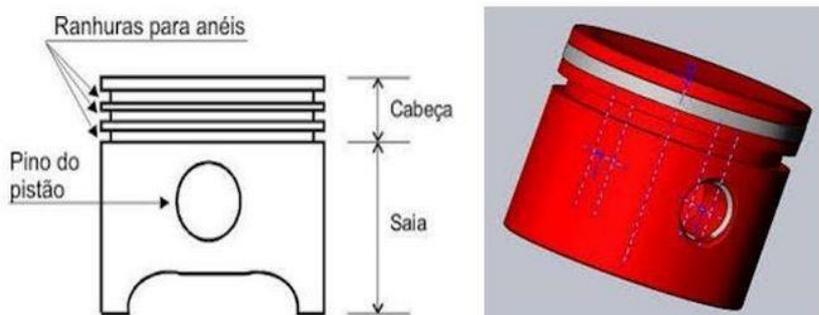


Fonte: Borgnakke e Sonntag (2018).

3.1.7 Pistões

Fechado na parte superior e aberto na inferior, o pistão é o responsável pelo movimento de expansão e compressão dos gases. No caso de motores ciclo Otto o pistão tem a cabeça reta, já no caso de ciclo Diesel ele possui câmara de combustão em seu topo. O pistão é interligado à biela através de um pino central e sua composição é de ligas de alumínio. O mesmo apresenta ranhuras na parte superior para fixação dos anéis de segmento, como mostra figura 7 seguinte:

Figura 7 — Pistão com ranhuras na cabeça para montagem dos anéis de segmento.



Fonte: CONSTITUIÇÃO DOS MOTORES.

3.1.8 Anéis de segmento

Embora que no primeiro olhar não expresse tanta importância os anéis de segmento exercem importantes funções. Os de vedação tem como função impedir a passagem dos gases de compressão e os queimados para o cárter, de forma a manter, a pressão constante sobre a cabeça do pistão. E os anéis de lubrificação, como o próprio nome diz lubrificam e raspam o excesso de óleo que fica na parede do cilindro, o direcionando para o cárter que é o lugar mais apropriado, como mostra figura 8 seguinte:

Figura 8 — Ilustração dos anéis de segmento dos motores de combustão interna.

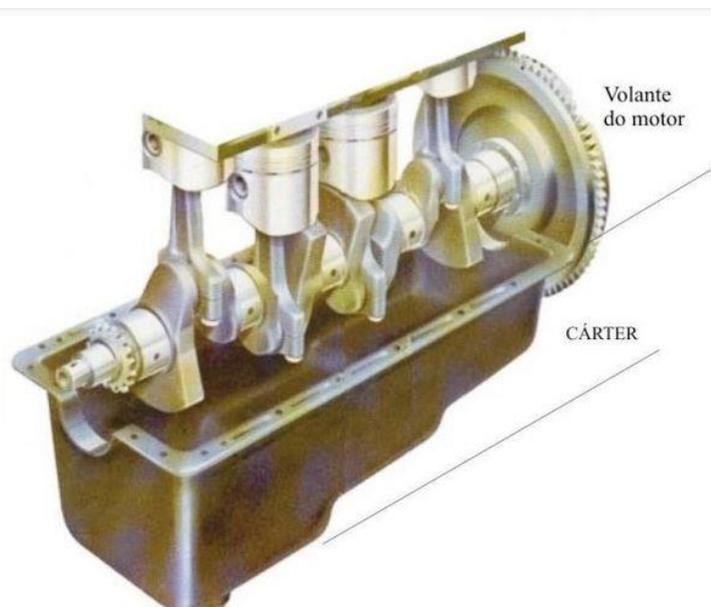


Fonte: Yenmak Engine Parts ANEL....

3.1.9 Cárter do motor

Localizado na parte inferior do bloco do motor, o cárter tem a função de depósito para o óleo lubrificante. Como a bomba de óleo lubrificante está localizada no cárter, normalmente, nos motores de quatro tempos ele exerce simplesmente a função de reservatório do óleo lubrificante. Mas existem modelos que utilizam cárter seco, que diferente do anterior, ele não fica acoplado ao bloco. E devido a esse fato, o lubrificante é armazenado em um reservatório à parte, que por meio de uma bomba de pressão leva o óleo até o motor, como mostra figura 9 seguinte:

Figura 9 — Cárter do motor junto com os pistões, virabrequim e volante do motor.



Fonte: CONSTITUIÇÃO DOS MOTORES.

3.2 Legislação euro5

É a norma europeia de emissões de gases poluentes direcionados para a atmosfera, sua função é implantar um padrão na emissão de poluentes dos veículos novos comercializados na União Europeia. É através dela que os países menos desenvolvidos controlam a quantidade de poluição, devido sua robustez e a falta de

controle, se tornando assim uma referência mundial quando se tratado a gases poluentes.

3.3 Proconve P7

É o Programa de controle de poluição do ar por veículos automotores, tendo como função principal a redução de emissões de gases poluentes e paralelamente este programa acabou promovendo o desenvolvimento tecnológico nacional, melhorando também a qualidade dos combustíveis (CETESB).

3.4 Evolução limites de emissões veículos pesados

A partir da criação da primeira legislação europeia (EURO 0) de controle de emissões de poluentes em 1988 vem sendo estabelecidas metas referente a envio de gases poluentes para atmosfera, com o intuito de reduzir a poluição enviada ao meu ambiente. Com o passar do tempo houve um aumento significativo na frota de veículos automotores obrigando as últimas legislações estabelecerem metas desafiadoras, conforme mostra a tabela 1 seguinte:

Tabela 1 — Evolução limites de emissões ao longo dos anos

UE ⁽¹⁾		Brasil			Procedim. de ensaio	CO	HC	NMHC ⁽²⁾	CH ₄ ⁽²⁾	NO _x	MP	NH ₃	NP	
Fase	Ano	Fase	Ano											
			Ônibus	Caminhão		g/kWh					ppm	nº/kWh		
-	-	P-1	1987	1989	NBR 7026/7027	Somente índice de fumaça (teor de fuligem)								
Euro 0	1988	P-2	--	1994/1996	ECE R49	11,2	2,4	-	-	14,4	-	-	-	
Euro I	1991	P-3	1994	1996/2000	ECE R50	4,5	1,1	-	-	8,0	0,36	-	-	
Euro II	1996	P-4	1998	2000/2002	ECE R51	4,0	1,1	-	-	7,0	0,15	-	-	
Euro III	2000	P-5	2004/2005	2005/2006	ESC ⁽³⁾	2,1	0,66	-	-	5,0	0,10	-	-	
					ETC ⁽⁴⁾	5,45	-	0,78	1,6	5,0	0,16	-	-	
Euro IV	2005	P-6	2009		ESC	1,5	0,46	-	-	3,5	0,02	25	-	
					ETC	4,0	-	0,55	1,1	3,5	0,03	-	-	
Euro V	2008	P-7	2012		ESC	1,5	0,46	-	-	2,0	0,02	25	-	
					ETC	4,0	-	0,55	1,1	2,0	0,03	-	-	
Euro VI	2014	P-8?	?		WHSC ⁽⁵⁾	1,5	0,13	-	-	0,40	0,01	10	8,0x10 ¹¹	
					WHTC ⁽⁶⁾	4,0	-	0,16	0,5	0,46	0,01	-	6,0x10 ¹¹	

Fonte: Os autores (2022).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os veículos como um todo são compostos por diversos sistemas. Logo, o sistema de escape ou exaustão de um veículo automotor consiste em vários componentes que harmonicamente trabalham de modo a canalizar os gases da câmara de combustão do motor os direcionando para a parte traseira do veículo. Visto isso, é de suma importância que o sistema funcione de forma mais adequada possível, já que se uma dessas partes não estiver funcionando corretamente poderá acarretar em uma perda de eficiência no funcionamento do sistema de modo geral.

Com base nesse conceito, este trabalho irá apresentar uma análise descritiva do avanço de cada etapa da aprovação da ideia, com o intuito de informar minuciosamente a implementação de uma melhoria de processo juntamente com redução de custo em uma fábrica de veículos automotores., conforme mostra a figura 10 seguinte:

Figura 10 — Fluxograma do processo de aprovação da ideia de redução de custo.



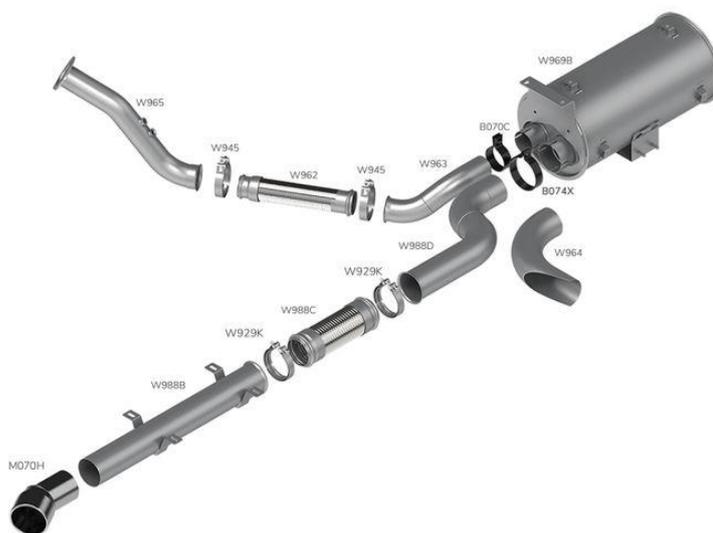
Fonte: Os autores (2022).

É fato que não adianta nada termos um sistema de alimentação supereficiente se não tivermos um sistema de exaustão igualmente eficiente e bem otimizado, já que tudo que sobe, desce, como tudo que entra deve sair. Sendo assim, se o motor admite uma mistura de ar e combustível, esses gases, mesmo depois de sofrer a explosão e

impulsionar o pistão dentro do cilindro, mesmo modificados, ainda estão lá e isso explica a importância de se ter um sistema de exaustão eficiente. É função da engenharia aplicar o conhecimento científico e técnico para criar, construir, melhorar e manter processos, sistemas, equipamentos, dentre outras. A importância dada ao sistema de escape por algumas pessoas é supérflua, sendo julgado como um componente apenas com a função de expulsar os gases gerados durante a combustão. Mas dada a importância de pequenos ganhos em termos de potência e torque para um veículo de alto desempenho, o sistema de escape se mostrou crucial para esse fim.

O sistema de escape automotivo consiste em todos os tubos e outros componentes que são projetados para transportar gases provenientes da combustão do motor de combustão interna até sua liberação no meio ambiente, conforme mostra figura 11 seguinte:

Figura 11 — Sistema de escapamento completo de um veículo XX Euro5



Fonte: Bepo (2022).

Descrevendo os componentes, pode-se dizer que o típico sistema de exaustão começa com os Runners (pequenos dutos) localizados após as válvulas de escape, ainda no cabeçote do motor e termina com o silenciador (LAUKKONEN, 2013). O sistema de exaustão é construído para direcionar os gases da combustão para um local afastado do motor e do condutor, ou seja, um sistema de escape é responsável por transportar quase tanto calor quanto o próprio sistema de arrefecimento. Se esse calor permanecesse no compartimento do motor, o motor ficaria mais quente, e conseqüentemente, ocorreria à redução da eficiência.

4.1 Características técnicas motores xx

Com base na história de uma fábrica de veículos automotores situada na Região Sul Fluminense, os motores XX (aqui usaremos nomes fictícios) são conhecidos mundialmente por sua robustez e confiabilidade, tendo como informações básicas, ser um motor de 4 tempos, com refrigeração a água, podendo ser de 4 ou 6 cilindros movidos a óleo diesel e montados com turbocompressor, atendendo a norma de emissões Euro 5 ou EEV.

Seu funcionamento é através do sistema de injeção de alta pressão Common-Rail juntamente com o comando eletrônico EDC 7 (EDC – Eletronic Diesel Control).

Logo abaixo podemos visualizar os principais dados técnicos disponíveis para pesquisa no mercado automobilístico brasileiro dos motores XX Euro 5:

- Motor XX Proconve P7 (Euro 5);
- Tecnologia de Emissões: Recirculação Externa de Gases (EGR);
- Sistema de injeção Bosch Commol Rail – EDC 7;
- Capacidade volumétrica: 4,580 Litros – XX34 (4 cilindros);
- Tomada de força: RePTO (opcional).

Podemos observar um modelo de motor XX na figura 12 seguinte:

Figura 12 — Ilustração de um motor XX Euro 5 completo



Fonte: motor xx (2018).

4.2 Componentes sistema de exaustão

Devido a existência de legislações de controle de poluição, o sistema de exaustão dos motores a diesel tem a incumbência de reduzir os gases poluentes oriundos da combustão, além disso tem a função de atenuar os ruídos gerados durante o funcionamento do motor e guiar os gases para a atmosfera, abaixo iremos apresentar os componentes do sistema de exaustão que fizeram parte da implementação da ideia de redução de custo e simplificação da montagem.

4.2.1 Tubo primário

Está localizado após o turbo, recebendo assim os gases de escape da turbina tendo a função de direcionar e levar os gases oriundos da combustão para o sistema de pós-tratamento, conforme figura 13 seguinte:

Figura 13 — Tubo Primário de um sistema de exaustão de um motor EURO5



Fonte: Raçudão acessórios para caminhões (2022).

4.2.2 Tubo intermediário

Este componente faz a função de um extensor, tendo como finalidade alcançar o gasbox (DOC), que está localizado fora do motor, conforme mostra figura 14 seguinte.

Figura 14 — Tubo Intermediário de um sistema de exaustão de um motor EURO5



Fonte: Grupo Vannucci (2022).

4.2.3 Suporte

Tem a função de dar a sustentação necessária para o tubo primário, atenuando o movimento de vibração dos componentes que fazem interface, evitando assim que os gases entrem em regime turbulento no interior da tubulação, conforme figura 15 seguinte:

Figura 15 — Suporte tubo primário de um sistema de exaustão de um motor EURO5



Fonte: Os autores (2022).

4.2.4 Tubo flexível

Tem por finalidade permitir a movimentação entre as peças que estão no motor e as peças situadas na longarina, fazendo tipo uma função de amortecedor de ressonância entre as duas partes evitando que o sistema fique extremamente rígido e pesado, conforme mostra a figura 16 seguinte:

Figura 16 — Tubo flexível de um sistema de exaustão de um motor EURO5

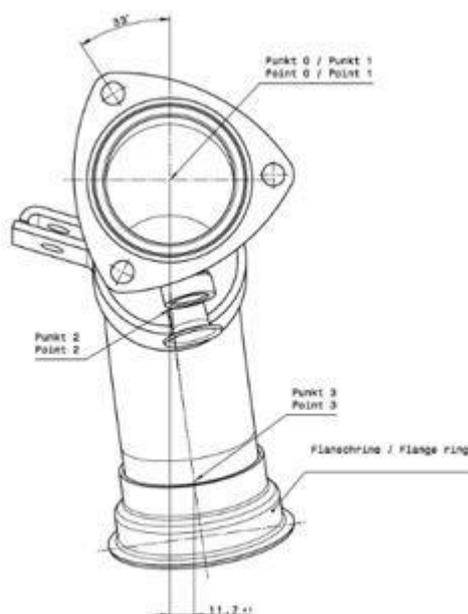


Fonte: Peçaagora (2022).

4.3 Análise de geometria dos tubos primários

Para que a implementação da ideia de modificação do sistema de exaustão dos motores (230 Cv) tivesse condições de avançar para a fase digital mockup, foram efetuadas análises dos dois desenhos das duas peças, com o intuito de observar a montagem dos dois componentes das duas motorizações. Onde foram feitas as verificações das características dos dois componentes como por exemplo dos pontos

Figura 18 — Pontos de fixação do tubo primário dos motores (190 Cv) EURO5.



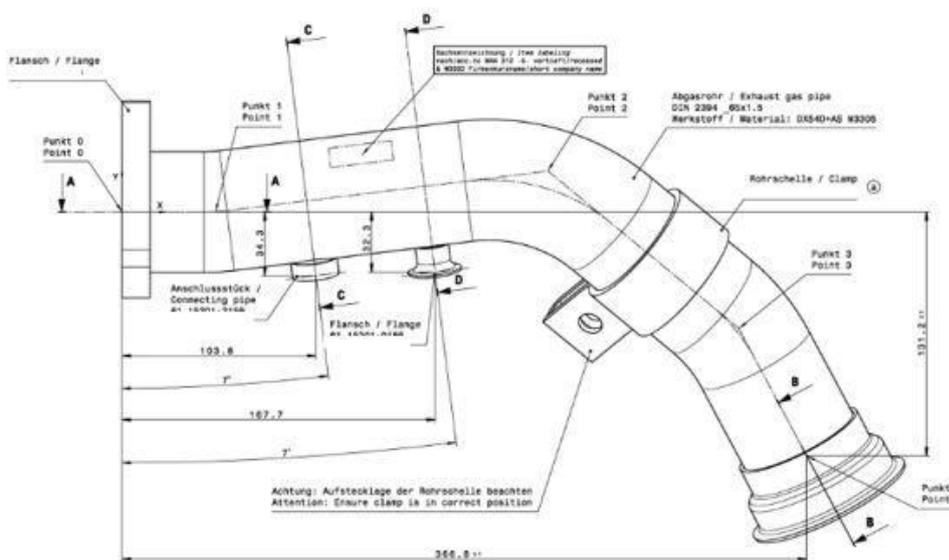
Fonte: Os autores (2022).

Mesmo possuindo uma curvatura menor em relação ao tubo primário dos motores (230 Cv), foi verificado que este componente daria montagem nos motores sem ter nenhuma alteração em relação a arquitetura eletrônica, parte mecânica e principalmente a performance do motor.

4.3.2 Geometria tubo primário motores (230 Cv)

Quanto a análise do desenho do tubo primário dos motores (230 Cv) observou-se que a sua curvatura é muito mais acentuada, isto era necessário devido a existência do *interstage*, uma peça grande, relativamente pesada, com alto custo e uma manutenção específica que ficava localizada entre o bloco do motor e o cárter, conforme mostra figura 19 seguinte:

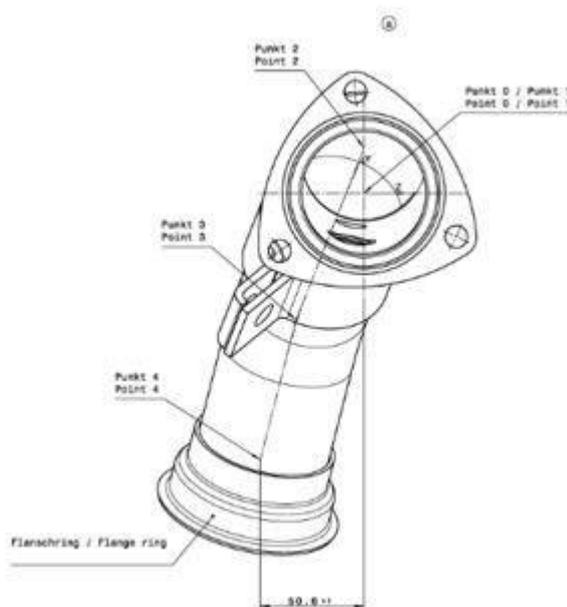
Figura 19 — Desenho do tubo primário dos motores (230 Cv) EURO5.



Fonte: Os autores (2022).

Assim como no tubo primário dos motores (190 Cv), foi verificado também os pontos de fixação, a interface com os componentes e o ponto de montagem da suportaç o do sistema, a fim de garantir a mesma qualidade de montagem nos motores (230 Cv), conforme mostra figura 20 seguinte:

Figura 20 — Pontos de fixa o do tubo prim rio dos motores de (230 Cv) EURO5.



Fonte: Os autores (2022).

Foi analisado também nos desenhos o tipo de material dos dois componentes e observou-se uma similaridade das suas propriedades mecânicas, ratificando a informação técnica de que com a implementação da modificação nos motores (230 CV) não haveria nenhuma mudança, tanto em relação a montagem das novas peças, quanto a performance dos motores.

4.4 Ferramentas cad e cae

Foram usadas as ferramentas CAD e CAE para verificar a montabilidade dos componentes entre os dois motores e elas foram fundamentais para a concretização da ideia. Falando das etapas de desenvolvimento é importante imaginar que aqui é uma visão bem micro, bem reduzida do processo de desenvolvimento do produto como um todo, mas isso é de suma importância para entender o papel dessas ferramentas nesse desenvolvimento porque isso não vale só para a indústria automotiva, o produto é conceituado, independente da área que ele seja. Posteriormente ele será modelado, basicamente por um software de CAD, e depois é feita a parte de avaliação com a ajuda das ferramentas de simulação e CAE, como o processo traz uma melhoria contínua, ele sofre uma otimização, e tem como objetivo reduzir custos, reduzir peso, e com a redução de todos esses componentes acaba tendo uma solução considerada naquele momento. O CAD e CAE estará presente nas etapas de modelar, avaliar e otimizar, sendo eles de suma importância nessas etapas de desenvolvimento. Antes, sem a aplicação da tecnologia CAD e CAE o processo de desenvolvimento do projeto era mais demorado, se perdia mais tempo, principalmente na correção de erros onde as etapas do projeto são: conceituação, desenvolvimento, protótipo, testes e produção. Essas mesmas etapas com a aplicação da tecnologia CAD e CAE na parte de desenvolvimento melhorou bastante o processo, podendo fazer a simulação, tanto na parte de montagem, quanto na questão estrutural com uma maior precisão, e isso gera lups, dentro da etapa de desenvolvimento antes da construção do protótipo para reduzir custos que geralmente são altos, logo reduzindo ou eliminando os lups também que são necessários devido a observação de falhas durante a etapa de testes.

A tecnologia CAD (Computer Aided Design), desenho/projeto assistido por computador, hoje cada vez mais tem sido vista e citada em artigos, pelo fato de que a tecnologia está se aperfeiçoando, as ferramentas vem melhorando com o tempo, como por exemplo a utilização da prancheta que antes era utilizada para fazer os desenhos, que muitas das vezes demorava semanas para se terminar e hoje em poucas horas ou até minutos, com a utilização de um software você consegue fazer o mesmo desenho, sendo que o que faz o projetista é "a capacidade que ele tem de utilizar as ferramentas." Hoje as empresas têm utilizado mais o Catia, Siemens NX e o Creo Parametric por possuírem uma estrutura mais arrojada. Esses softwares possuem uma interface bem semelhante, que é a aplicação DMU, no qual se pode trabalhar com um alto volume de peças, que o faz ser bastante utilizado na indústria automobilística e aeronáutica, de modo que eles acabam se tornando essenciais para a montabilidade e para a análise ergonômica dos componentes. Falando de inovações para o CAD, hoje está se avançando cada vez mais nos ambientes virtuais e até para validação de montagem virtual, impressão 3D, prototipagem rápida, que são áreas da indústria que hoje vem se desenvolvendo com tendência de aumentar.

A tecnologia CAE, (Computer Aided Engineering). É a tecnologia que utiliza o computador para dar suporte a engenharia auxiliando-a no desenvolvimento de projetos. Suas principais ferramentas incluem: Análises de elementos finitos (FEA), dinâmica computacional de fluídos (CFD) e dinâmicas de multicorpos (MDB). O principal objetivo do CAE é ter uma segurança em relação a estrutura, para garantir que ela não vá apresentar falha após o teste, e tentar trabalhar com uma estrutura mais otimizada possível. Assim como o CAD, o CAE se encaixa na etapa de desenvolvimento no fluxo do projeto, sendo importante se destacar que as etapas finais do protótipo e testes continuam sendo bastante importantes no fluxograma, porque mesmo que muito bem planejado no final ainda pode-se apresentar falhas, porque o ciclo precisa de um tempo de maturação, um tempo de otimização. Falando das aplicações do CAE pode-se citar a otimização topológica, análise de resposta em frequência.

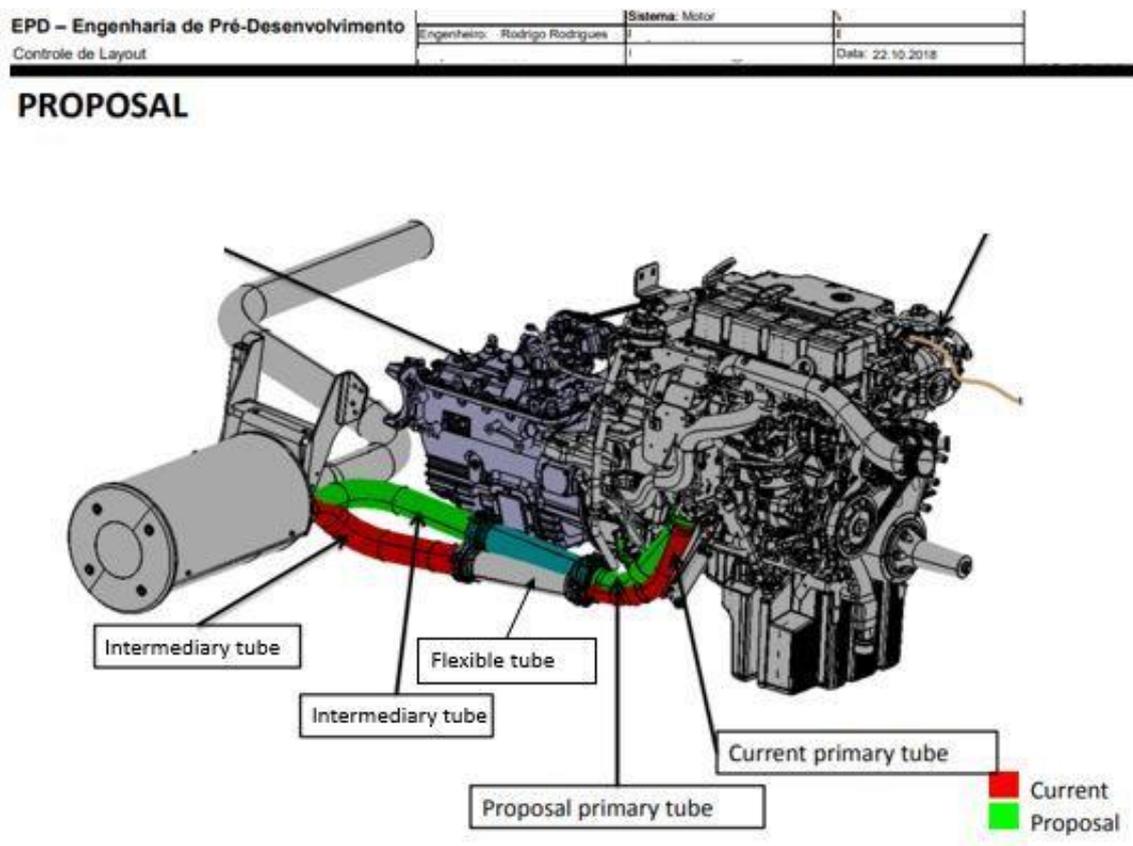
4.5 Engenharia de pré desenvolvimento

De acordo com (PASSOS, 2018) a engenharia de pré-desenvolvimento tem como diretriz o Planejamento Estratégico da Unidade de Negócio ou Corporação, para assim realizar a priorização de projetos e os planejamentos dos mesmos. O mercado brasileiro de veículos comerciais está superando uma recente crise e voltando a crescer. Nesse cenário as empresas têm a necessidade de otimizarem cada vez mais os seus produtos, mantendo o custo baixo, para se manterem competitivas. Uma das áreas que contribuem para isso é denominada Engenharia de Pré-Desenvolvimento (EPD), que utiliza softwares de análise e modelagem virtual para desenvolver propostas, antes de sua validação em testes físicos, evitando gastos desnecessários com projetos prematuros.

Nesta fase do processo de implementação da ideia de redução de custo foi enviado todos os dados necessários para a engenharia avançada para a execução da análise virtual, com o objetivo de simular a montagem no chassi do veículo, a fim de se observar alguma interferência de montagem.

A EPD foi fundamental para a validação da troca do sistema de exaustão já que foi através dela a confirmação da oportunidade identificada, junto aos conhecimentos técnicos do time de engenharia de motores da fábrica, que sugeriu a proposta com o intuito de otimizar a aplicação do componente e beneficiar a empresa através da redução de custo. Sendo assim, então foi possível verificar a viabilidade de montagem dos componentes que eram montados na motorização de 190 (Cv) nos motores de 230 (Cv) com a comprovação de sua funcionalidade e aplicabilidade, através do uso de técnicas e ferramentas avançadas de modelagem tridimensionais e também com as análises virtuais com o intuito de demonstrar a diferença de complexidade entre os componentes, conforme mostra figura 21 seguinte:

Figura 21 — Análise digital mockup ilustrando a montagem dos componentes do sistema de exaustão.



Fonte: Os autores (2022).

Essa área foi responsável por identificar e comprovar todas as soluções relacionadas ao produto, desde a concepção da implementação da ideia até o lançamento, fazendo jus de ser atualmente uma das ferramentas mais utilizadas nas empresas, com destaque para o setor automotivo e aeroespacial, que tem o auxílio no desenvolvimento através do software CAD (Computer Aided Design) 1, segundo Nitsche et al (2003). Nesse contexto, também se destacam, ao lado do CAD, duas outras ferramentas: CAE (Computer Aided Engineering) 2 e CAM (Computer Aided Manufacturing) 3. Essas três ferramentas são amplamente utilizadas nas mais diversas empresas atualmente. Outro ponto importante que traz benefícios para a empresa, além da redução de custo, é a redução de complexidade dos produtos (SILVA et al, 2017). Uma das formas de obter essa redução é através da transformação de componentes similares, com funções distintas, em componentes multifuncionais. Essas soluções também são analisadas pela EPD.

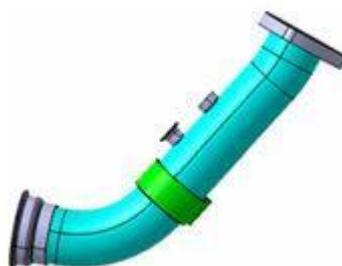
4.6 Comparação dos componentes

Foram efetuadas algumas comparações quanto a geometria dos dois componentes nos dois motores na EPD e obtivemos resultados satisfatórios com uma redução de custo significativa, conforme iremos mostrar abaixo:

4.6.1 Tubo primário - Motores (190 Cv)

Neste componente foi observado uma simplicidade na geometria da peça, fazendo com que seu custo fosse relativamente mais baixo, conforme mostra figura 22 abaixo:

Figura 22 — Tubo primário dos motores de (190 Cv) EURO5.



Fonte: Os autores (2022).

A redução da complexidade de montagem juntamente com a redução de custo do sistema de exaustão se deu, devido este componente possuir uma menor curvatura em sua região central, em comparação a peça montada nos motores (230 Cv).

4.6.2 Tubo primário - Motores (230 Cv)

Neste componente foi observado uma complexidade maior na geometria da peça, devido a existência do *interstage*, foi necessário incluir uma curva a mais para a montagem atingir o devido padrão de qualidade exigida nas normas automotiva. Com o passar do tempo os motores teve uma significativa evolução, sendo retirado o *interstage* e conseqüentemente abrindo a possibilidade para a simplificação do sistema, conforme mostra figura 23 seguinte:

Figura 23 — Tubo primário dos motores (230Cv) EURO5.



Fonte: Os autores (2022).

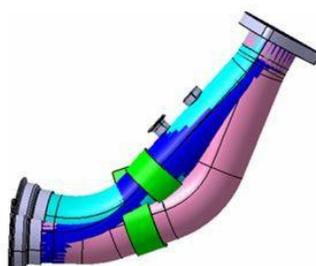
Como pode-se observar, de fato o tubo primário dos motores 230 (Cv) tinha uma curva mais acentuada, resultando em um valor mais elevado do componente e uma complexidade maior no processo de montagem.

Isso ocorria devido a existência do *interstage*, uma peça situada entre o bloco do motor e o cárter.

4.6.3 Tubo primário motores 190Cv X 230Cv

Com a análise da geometria dos componentes na EPD, podemos verificar de fato uma simplificação de montagem dos motores 190 CV e uma oportunidade de aplicação nos motores de 230 CV, conforme podemos verificar na figura 24 seguinte:

Figura 24 — Comparação dos tubos primários dos motores (190 Cv) X (230 CV) EURO5.



Fonte: Os autores (2022).

A geometria da peça apresenta uma redução da curvatura e conseqüentemente de material, o que leva a redução de custo relacionado ao material e uma simplificação do sistema relacionado a montagem, foi verificado também uma igualdade de dimensões entre os dois componentes, diâmetros interno e externo, encaixe de

entrada, saída e localização de instalação de suporte para sustentação do tubo primário de exaustão.

4.7 FMEA E DFMEA

Após a aprovação da implementação da proposta de redução de custo foi aplicado o FMEA nos componentes novos, que consiste em uma técnica de análise que foi desenvolvida para ser aplicada principalmente a componentes (hardware), cujo objetivo primordial foi “radiografar” cada um dos componentes do sistema de exaustão, a fim de levantar todas as maneiras pelas quais as peças possam vir a falhar e avaliar quais os efeitos que estas falhas acarretam sobre as demais peças e sobre o sistema de instalação dentre outros (CARBONE; TIPPET, 2004; SIMÕES, 2004). Nos anos 60 a NASA, através do Apollo Space Program, foi a pioneira no desenvolvimento e evolução do método, mas o mesmo surgiu em 1949 na Indústria Militar Americana. De acordo com Maddox (2005), o FMEA constitui uma das técnicas de análise de risco mais utilizadas no domínio de engenharia de produto. Já para Puente et al. (2002), o FMEA permite analisar potenciais problemas, identificar possíveis defeitos no produto antes de chegar ao cliente final, estudar seu impacto em todo o sistema e tomar decisões de controles mais decisivas, tanto para FMEA de produto (DFMEA) e FMEA de processo (PFMEA)

O (INSTITUTO DA QUALIDADE) ressalta que a aplicação desta ferramenta tem um direcionamento preventivo em relação as falhas que no futuro poderão ocorrer, com isso temos algumas vantagens a salientar sobre a sua aplicação:

- Otimização do tempo na fase de planejamento;
- Redução de custos em eventuais alterações;
- Redução de ciclo de introdução de novos projetos;
- Redução de volume de alterações/retrabalhos.

Segundo estudo de pesquisa feito pelo Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da USP, São Paulo/SP que visa relatar o papel do FMEA no processo de tomada de decisão em desenvolvimento de novos produtos, onde o

objetivo geral foi analisar o papel do FMEA no processo de tomada de decisão em desenvolvimento de produtos em uma empresa automobilística, e constatou-se que o conceito de gerenciamento de riscos técnicos baseado no FMEA que teve como parte essencial do processo decisório para o desenvolvimento de novos produtos, sendo bem aceito pelos usuários (engenheiros e técnicos) e bem aceito pelos clientes, tomadores de decisão (gerentes de projeto, gerentes funcionais e líderes de desenvolvimento de produtos). Este fato é evidente porque todo projeto de novo produto que implementa o conceito (SEGISMUNDO; MIGUEL, 2006) utiliza o mesmo produto e seus resultados iniciais têm sido objeto de discussões de alto nível para tomada de decisão junto à alta diretoria, a tabela 2 abaixo mostra o FMEA feito referente a modificação do sistema de exaustão.

Tabela 2 — FMEA do sistema de exaustão dos motores (230 Cv).

Item	Função	Requisito	Modo de Falha
Sistema de exaustão	Conduzir os gases de escape da combustão do motor de forma segura até o sistema de pós-tratamento e consequentemente até a atmosfera	Atenuar ruídos oriundos do motor	Vazamento de gases
			Trincas na tubulação
			Parafuso de fixação com torque baixo
		Guiar os gases de exaustão para a atmosfera, a fim de distanciá-los da região do motor e da cabine.	Parafuso de fixação com torque alto
			Montagem incorreta do suporte
			Soltura da tubulação de escape
			Sensor Nox avariado
			Existência de corrosão na tubulação

Fonte: Os autores (2022).

Sendo interessante destacar que na elaboração do FMEA, o (INSTITUTO DA QUALIDADE) informa que cada componente é submetido a uma avaliação de risco de forma a identificar seus possíveis modos de falha, tal análise é denominada como Número de Propriedades de Risco (RPN), sendo representada pela fórmula abaixo:

$$RPN = \text{Severidade (S)} \times \text{Ocorrência (O)} \times \text{Detecção (D)}$$

Onde:

S - Severidade;

O - Ocorrência;

D - Detecção.

Para cada modo de falha são atribuídos três valores: a probabilidade de ocorrência de um modo de falha (“O”), a severidade do impacto de tal falha (“S”) e a capacidade dos meios de detecção desta falha antes que ela realmente ocorra (“D”). A simples multiplicação destas três variáveis gera o valor do risco, denominado NPR (MADDOX, 2005).

4.8 Análise técnica de custos

Foi feita uma análise de custos juntamente com o setor de finanças da fábrica para verificar se além da simplificação da montagem haveria a possibilidade de redução de custo diretamente no veículo.

Após pesquisas de custos dos respectivos componentes que englobavam o sistema de exaustão dos dois motores, foi ratificada esta possibilidade, como mostrados os dados financeiros dos dois sistemas de exaustão completos na tabela 3 seguinte:

Tabela 3 — Análise de custo dos componentes de exaustão da implementação da ideia de redução de custo

Item	Part Number	Descrição	Aplicação	Add	Del	Qty	Custo total
1	xxxxxxxxxxx	Tubo Primário	Motores 230 CV		X	1	R\$ 91,30
2	xxxxxxxxxxx	Tubo Primário	Motores 190 CV	X		1	R\$ 81,38
3	xxxxxxxxxxx	Suporte	Motores 230 CV		X	1	R\$ 20,57
4	xxxxxxxxxxx	Suporte	Motores 190 CV	X		1	R\$ 12,25
5	xxxxxxxxxxx	Tubo Intermediário	Motores 230 CV		X	1	R\$ 65,81
6	xxxxxxxxxxx	Tubo Intermediário	Motores 190 CV	X		1	R\$ 34,49
Redução Total							R\$ 49,56

Fonte: Os autores (2018) - Esta tabela tem como foco principal informar o valor alcançado na implementação da ideia de redução de custo.

A engenharia realizou também, juntamente com o setor financeiro, uma análise detalhada de cada componente do sistema de exaustão, com o intuito de informar os custos com a permanência e a retirada das peças envolvidas, conforme demonstra o quadro acima, para que de fato fossem alcançados os objetivos, conciliando o aumento da simplicidade da montagem do sistema de exaustão dos motores 230 (Cv) com o máximo de redução de custos.

Como informado acima no quadro 1 foram retirados os componentes dos motores de (230 Cv) os itens 1, 3 e 5 para a instalação dos componentes mais baratos dos motores de (190 Cv) os itens 2, 4 e 6, resultando assim em uma redução de custos de R\$ 49,56 por veículo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Try out (tentativa de montagem)

Foi efetuado na linha de montagem da fornecedora dos motores um Try out (tentativa de montagem), com o suporte da engenharia de design e uma equipe técnica da linha de montagem dos motores para que este teste tivesse representatividade frente a engenharia de motores, conforme mostra figura 25 seguinte:

Figura 25 — Try out efetuado na linha de produção com o tubo primário dos motores (190 Cv) no motor de (230 Cv).



Fonte: Engenharia motores (2018).

Com a efetuação deste teste piloto, a proposta de modificação do sistema de exaustão dos motores 230 (Cv) teve aprovação da engenharia. Neste teste a engenharia pode analisar no motor físico o encaixe perfeito dos componentes, a melhoria do processo de montagem das peças envolvidas, e se houve algum tipo de interferência entre os componentes mecânicos e elétricos.

- Efetuação de aperto dos componentes;
- Retirada do dispositivo que auxilia na montagem;
- Lacre dos componentes de fixação;
- Efetuação do aperto do parafuso da abraçadeira do tubo primário.

Com a aprovação adquirida no try out (tentativa de montagem) e a confecção deste plano de montagem, os motores (230 Cv) passaram-se a ser montados com o sistema de exaustão dos motores (190 cv), atingindo assim o objetivo da redução de custo juntamente com a simplificação do roteiro de exaustão, pois devido a menor curvatura do tubo primário dos motores (190 Cv) houve uma otimização do processo de montagem dos componentes dos motores (190 Cv) nos motores (230 Cv).

6 CONCLUSÃO

Sendo assim, com a modificação no sistema a montagem ficou menos complexa e mais barata devido a unificação do tubo primário e diminuição de variação de peças. Sendo possível constatar também uma redução de tempo de montagem devido a retirada do *interstage*.

Onde primeiramente através de testes e um processo de aprovação robusto dentro da engenharia com o auxílio fundamental da ferramenta CAD no setor de Engenharia de Pré-Desenvolvimento (EPD) foi possível verificar a viabilidade de montagem dos componentes que eram montados na motorização de 190 (Cv) nos motores de 230 (Cv) e demonstrar a diferença de complexidade entre os componentes.

Os resultados para o nosso segundo objetivo, o de redução de custos, foram satisfatórios, visto que os resultados finais alcançados com a modificação do roteiro de exaustão de um modelo de caminhão com motorização de (230Cv) para o roteiro de exaustão de outro modelo de caminhão com motorização de (190Cv), uma redução de custo estimado no valor unitário de R\$ 49,56 no componente multifuncional, que se levarmos em consideração em uma produção de grande escala irá refletir em uma boa diferença no valor final, além de simplificar a montagem do mesmo. Redução de custo que é atualmente e será futuramente fator importantíssimo para contribuir com o aumento da competitividade da empresa no mercado, desde que seja feita de modo consciente, levando em consideração todos os cuidados necessários de estudos, pesquisas e testes.

Concluimos então nosso trabalho com o pensamento de que todo e qualquer processo de modificação a ser implementado exige antes de qualquer coisa um grande trabalho de estudo, partindo da análise teórica e computacional antes de uma possível implementação experimental. Conclui-se também de que a otimização de comunização de componentes atualmente é fator preponderante na indústria não só automotiva mais de modo geral, através da busca de compactação de elementos e ganho/aumento de potência/eficiência, como exemplo citado nos motores de combustão interna (MCI) que cada vez mais ficam menores, mais simples e potentes.

7 INDICAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Dar continuidade nos projetos existentes nos motores, atingindo novos resultados com as ferramentas aplicadas ou aplicando novas tecnologias de acordo com seu avanço.

Os motores de combustão interna de acordo com seu avanço tecnológico, tem o dever de se adequarem nas legislações existentes para controle de emissões de poluentes no meio ambiente, através desse objetivo surgem vários projetos dentro da fase de desenvolvimento dos motores e para otimização de custos dos motores.

Criar projetos dando destaque para tal evolução na fase de desenvolvimento dos motores, com ênfase na redução de custo, sem afetar a performance do motor ou os padrões de emissões.

O desenvolvimento de trabalhos que enfoquem em outras soluções, mas para o mesmo problema de pesquisa, como uma análise de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) detalhada, a fim de adquirir resultados sobre a perda de carga no novo sistema de exaustão montado nos motores de (230 Cv).

REFERÊNCIAS

- 289 Alto Desempenho. **Comando de controle**. Medium. <https://medium.com>, 2016. Disponível em: <https://medium.com/@289hipo/comando-de-v%C3%A1lvulas-413a20b0c15e>. Acesso em: 19 nov. 2022.
- ANEL DE PISTÃO: TIPOS DE ANÉIS. Yenmak Engine Parts. Disponível em: <https://yenmak.com.tr/pt/produtos/tipos-de-anis-497>. Acesso em: 19 nov. 2022.
- Bepo. **Sistema escapamento VW Constellation Euro5**: Linha Pesada. Bepo. 2022. Disponível em: <http://www.bepo.com.br/produtos/linha-pesada/escapamentos-1/escapamentos/escapamento-para-vw-constellation-17280-24220-advantech-euro-5>. Acesso em: 6 ago. 2022.
- BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da termodinâmica**. Editora Blucher, v. 2, f. 365, 2018. 730 p.
- CETESB. **Proconve**. CETESB EMISSÃO VEICULAR. São Paulo. Disponível em: Acesso em: 15 nov. 2022.
- INSTITUTO DA QUALIDADE, Automotiva. **FMEA**. 4 ed. São Paulo.
- JÚNIOR, DURVAL PIZA. **Motores de Combustão Interna**. Piracicaba, v. 1, f. 129, 1997. 129 p Monografia (Sistemas Mecânicos) - Faculdade de Tecnologia de Piracicaba, Piracicaba, 1997.
- PASSOS, Galucco. **Redução de custo e complexidade através da unificação de dois componentes agregados a um chassi de caminhão**. Taubaté, 2018 Trabalho de Conclusão de Curso (Projeto Mecânico do Departamento de Engenharia da Universidade de Taubaté.) - Universidade de Taubaté, Taubaté, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/4962>. Acesso em: 26 ago. 2022.
- RAYNAL, B. **INTRODUÇÃO AO ESTUDO E AOS ENSAIOS DE MOTORES DE COMBUSTÃO**. 2001. Disponível em: file:///F:/faculdade/Material%20de%20Apoio%20TCC/Motores%20e%20Combust%C3%ADveis/ACAPA_INDICE.pdf. Acesso em: 15 jun. 2022.
- SIMÕES, Alberto. **Comunização de componentes na indústria automotiva**. Curitiba, 2005. Disponível em: <https://silo.tips/download/comunizacao-de-componentes-na-industria-automotiva>. Acesso em: 23 ago. 2022.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas S.A, f. 352, 2002. 703 p.

TUBO Flexível. Peçaagora. São Paulo. Disponível em: <https://www.pecaagora.com/p/288590/tubo-flex-escap-vw-06-2017-2t2-253-097-a-2t2-253-097-a>. Acesso em: 15 nov. 2022.

TUBO Intermediário. Grupo Vannucci. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://grupovannucci.com.br/produto/va42733/>. Acesso em: 21 ago. 2022.

TUBO Primário. Raçudão acessórios para caminhões. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.racudao.com.br/tubo-motor-volks-constellation-1728024280-advantech-07w253091f-w965-tm1156-f6637/prod-7354216/>. Acesso em: 21 ago. 2022.

VARELLA, Carlos Alberto. **CONSTITUIÇÃO DOS MOTORES**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica – RJ. Disponível em: http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Aulas/constituicao_dos_motores.pdf. Acesso em: 19 nov. 2022.

Volkswagen. **Especificações técnicas**. Volkswagen Caminhões e ônibus. 2020. 2 p. Disponível em: <https://man-static-hml.s3.amazonaws.com/72e1ddc5-5703-401d-ac2a-9e7c1a0d3c7f.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2022.

KINSLER, L. E. et al. Fundamentals of Acoustics. John Wiley & Sons, Inc., n. 4, p. 121-128, 2000.

BLAIR, G.P. Desing and Simulation of Four-Stroke Engine. Society of Automotive Engineers, Inc., n. 1, p. 703 - 709, p. 726, 1999.

BELL, A.G. Performance Tuning in Theory and Practice Four Strokes. Foulis, p. 110 – 119, 1981.

SILVA, G. C. C. Estudo Analítico e Numérico do Desempenho Acústico de Silenciadores Reativos na Presença de Escoamento Médio Incompressível. Dissertação de Mestrado em integridade de Materiais da Engenharia. Faculdade UnB Gama/FT/Universidade de Brasília, DF, 2016.

FERRAZ et al. apud NITSCHKE, A. T. (2004). O desenvolvimento de produtos como ferramenta de gerenciamento do processo de transferência de tecnologia. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais.

NITSCHKE, A.T.; GONÇALVES, J.B.; GOMES, D.T.; FILHO, E.R. O uso das ferramentas de CAD/CAE/CAM no desenvolvimento de produtos: o “estado das práticas” em pequenas e médias empresas. 2º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF). Uberlândia, MG. 2003.

BARROS, A. Indústria de caminhões volta a pensar em crescimento. Disponível em <http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/24491/industria-de-caminhoes-volta-a-pensarem-crescimento>. Acesso em 05 de julho de 2022.

SILVA, D.C.; VICTOR, P.F.R.; RANGEL, P.J. Redução de complexidade na área de motor. Semana de Atividades Científicas da AEDB – SEAC. Resende, RJ. 2017. SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart e JOHNSTON, Robert. Administração da produção. 19ª ed. Editora Atlas 2010.

CARBONE, T.A.; TIPPETT, D.D. Project risk management using the Project risk FMEA. *Engineering Management Journal*, v.16, n.4, p. 28-35, 2004.

MADDOXX, M.E. Error apparent. *Industrial engineer*, v.37, n.5, p. 40-44, 2005.

ÁNDRE, Segismundo. Processo de Descentralização de Novos Produtos: uma análise em uma empresa do setor de veículos comerciais. 2009. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR-9714: Ruído emitido na condição parado. Rio de Janeiro: ABNT, JAN 2000.

SIMÕES, S.F. Aplicação de FMEA e FMECA na Tecnologia Submarina. In: CENPES/PDP/TS PETROBRAS, São Paulo, 2004.

SEGISMUNDO, A.; MIGUEL, P.A.C. Gerenciamento de riscos em projetos: Proposição inicial de um conceito integrado para as fases de desenvolvimento de produto – Estudo em uma empresa automotiva. Artigo aceito para o XIV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA; SIMEA, São Paulo, 2006.

SILVA, C. Método para avaliação do desempenho do processo de desenvolvimento de produtos. 2001, 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

GLOSSÁRIO

Expressão	Descrição
-----------	-----------

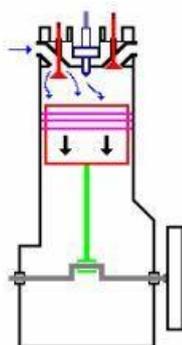
ANEXO A — Funcionamento dos motores a diesel

O autor (RAYNAL, 2001) afirma que nesses tipos de motores tem-se a ignição sem qualquer interferência do meio exterior, através da auto-ignição, que é a energia obtida pela fase de compressão, que acaba elevando a temperatura da mistura ar/combustível acima do valor inicial, sendo conhecido popularmente de motores a ignição por compressão.

Segundo (JÚNIOR, 1997), os motores de combustão interna são máquinas que fazem a conversão da energia oriunda do calor em energia mecânica. Sendo em 1892 criado por Rudolph Diesel uma unidade de potência movida por ignição espontânea, conhecida até hoje como motores Diesel, que tem seu princípio de funcionamento discriminado nas informações seguintes.

Explicando o funcionamento dos motores a ciclo Diesel (JÚNIOR, 1997) afirma que na fase de admissão de ar a válvula de admissão se abre e a válvula de escape permanece fechada, ocasionando o deslocamento do pistão do Ponto Morto Superior (PMS) para o Ponto Morto Inferior (PMI), resultando na admissão de ar para dentro do cilindro, conforme mostra figura 27 seguinte:

Figura 27 — Ilustração fase de admissão motores ciclo diesel.

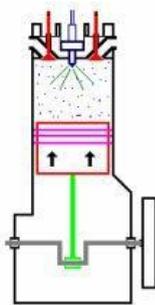


Fonte: Júnior (1997, p.16).

Na fase de compressão (JÚNIOR, 1997) diz que o ar admitido fica no cilindro, a válvula de admissão é fechada e a válvula de escape permanece fechada, ocasionando no deslocamento do pistão do Ponto Morto Inferior (PMI) para o Ponto

Morto Superior, fazendo assim a compressão do ar que se encontra dentro do cilindro. A injeção do diesel acontece um pouco antes do pistão chegar ao (PMS), resultando em um aquecimento no ambiente e originando a combustão, conforme mostra figura 28 seguinte:

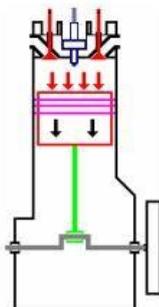
Figura 28 — Ilustração fase de compressão motores ciclo diesel.



Fonte: Júnior (1997, p.16).

Avançando para a fase de expansão de acordo com (JÚNIOR, 1997), as válvulas de admissão e expansão permanecem fechadas, fazendo com que a combustão provoque a expansão dos gases, empurrando o pistão para baixo, saindo do (PMS) e indo para o (PMI), conforme mostra figura 29 seguinte:

Figura 29 — Ilustração fase de expansão motores ciclo diesel.

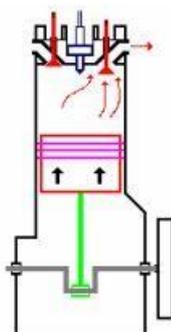


Fonte: Júnior (1997, p.17).

Já na fase de escapamento a válvula de admissão permanece fechada, mas em contrapartida a válvula de escape se abre, fazendo com que os gases saiam do

cilindro, neste momento acontece o deslocamento do pistão do (PMI) para o (PMS), este deslocamento é o responsável pela saída dos gases queimados que estavam no cilindro e estes gases vão em direção para o sistema de exaustão (JÚNIOR, 1997), conforme mostra figura 30 seguinte:

Figura 30 — Ilustração fase de escapamento motores ciclo diesel.



Fonte: Júnior (1997, p.17).

Segundo (JÚNIOR, 1997). existem algumas aplicações de veículos automotores (caminhões e alguns carros), para transportes marítimos (barcos de médio e pequeno porte) e grandes instalações industriais, todas elas com motores movidos a diesel.