

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**FELIPE DE MOURA**  
**RODRIGO BOSCOLO SOARES**

**DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE  
MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA ATRAVÉS DA  
ANÁLISE DAS EMISSÕES SONORAS NA FAIXA DE  
FREQUÊNCIA AUDÍVEL**

**Taubaté – SP**

**2018**

**Felipe de Moura**  
**Rodrigo Boscolo Soares**

**DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE  
MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA ATRAVÉS DA  
ANÁLISE DAS EMISSÕES SONORAS NA FAIXA DE  
FREQUÊNCIA AUDÍVEL**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Certificado de Graduação do  
curso de Engenharia Mecânica do  
Departamento de Engenharia Mecânica da  
Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Silva de  
Araújo Porto

**Taubaté – SP**

**2018**

**SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

M929d Moura, Felipe de  
Diagnóstico das condições operacionais de motores a combustão interna  
através da análise das emissões sonoras na faixa de frequência audível /  
Felipe de Moura; Rodrigo Boscolo Soares. -- 2018.  
26 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Fernando Silva de Araújo Porto, Departamento de  
Engenharia Mecânica.

1. Análise de ruído. 2. Diagnóstico de falha. 3. Ruídos mecânicos.  
I. Título. II. Soares, Rodrigo Boscolo. III. Graduação em Engenharia  
Mecânica.

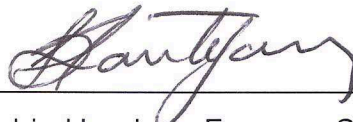
CDD – 620.2

FELIPE DE MOURA  
RODRIGO BOSCOLO SOARES

**DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE MOTORES A  
COMBUSTÃO INTERNA ATRAVÉS DA ANÁLISE DAS EMISSÕES SONORAS NA  
FAIXA DE FREQUÊNCIA AUDÍVEL**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE **GRADUADO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA**

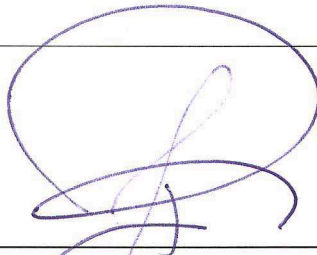
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



---

Prof. Msc. Fabio Henrique Fonseca Santejani  
Coordenador de Trabalho de Graduação

**BANCA EXAMINADORA:**



---

Prof. Dr. Fernando Silva de Araújo Porto  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Msc. Ivair Alves dos Santos  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

(29, outubro de 2018)

*Dedicamos esta monografia a todos os professores  
do Curso de Engenharia, ao nosso querido  
Orientador Professor Me Fernando Silva de Araújo  
Porto, aos nossos familiares, amigos e todos  
aqueles que de certa forma contribuíram para a  
realização deste trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter nos dado saúde e força para superar as dificuldades presentes no decorrer do curso.

Aos nossos pais Maria de Lourdes Moura, Antônio Clair de Moura, Francisco Carlos Soares e Conceição Aparecida Boscolo Soares pelo amor, incentivo, paciência e apoio incondicional.

A Rafaela Fernanda Pinto, pelo carinho, incentivo e paciência.

A nossos amigos, pela paciência, ajuda, respeito e principalmente pela compreensão e apoio durante nossas horas de estudo.

Aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado em especial ao nosso orientador Fernando Silva de Araújo Porto por todo conhecimento repassado.

A toda comunidade acadêmica da Universidade de Taubaté que contribuíram até o final desse ciclo de maneira satisfatória.

Enfim, agradecemos a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

“Para sobreviver, nos agarramos em tudo o que sabemos e entendemos e chamamos isso de realidade, mas conhecimento e entendimento são ambíguos, aquela realidade poderia ser uma ilusão. Todos os humanos vivem com premissas erradas. Não é impossível pensar que todos os seres humanos vivem de suas próprias conclusões.”

Autor Desconhecido

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise sobre um método alternativo de diagnóstico de falha comumente utilizado por mecânicos, a análise de ruído, na qual apenas com a audição é realizado um diagnóstico sobre qual defeito mecânico pode estar ocorrendo em um motor a combustão interna. O estudo buscou determinar se existem frequências que permitem este tipo de diagnóstico através unicamente do ouvido humano e procurou evidências de que isto é possível. Para isso realizou-se em conjunto a um mecânico, testes funcionais em um motor em diferentes condições de funcionamento, o qual o ruído mecânico foi gravado e analisado posteriormente por softwares computacionais, apresentando como resultado frequências na faixa de som audível e condições de funcionamento simples de se executar, viabilizando o método de diagnóstico em determinadas falhas.

**Palavras-chave:** Análise de Ruídos; Diagnóstico de Falha; Ruídos Mecânicos.



## **ABSTRACT**

This work presents an analysis in an alternative method of fault diagnosis commonly used by mechanics, noise analysis, only with hearing is performed a diagnosis about which mechanical defect may be occurring in an internal combustion engine. The study sought to determine if there are frequencies that allow this type of diagnosis through only the human ear and sought evidence that this is possible. For this, with a mechanical, functional tests were performed on a motor in different operating conditions, the mechanical noise was recorded and analyzed later by computer software, resulting in audible frequencies and simple operating conditions to execute, making the diagnostic method feasible in certain failures.

**Keywords:** Noise Analysis; Failures Diagnosis; Mechanical Noise

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do ciclo quatro tempos. ....	4
Figura 2 - Componentes de um motor de quatro etapas .....	5
Figura 3 - Bloco do motor .....	6
Figura 4 - Camisa Seca .....	6
Figura 5 - Camisa Úmida .....	7
Figura 6 - Cabeçote do Motor .....	7
Figura 7 - Vista frontal do cabeçote .....	8
Figura 8 - Cárter do Motor .....	8
Figura 9 - Partes constituintes de um pistão .....	9
Figura 10 - Componentes do sistema de arrefecimento .....	10
Figura 11 - Motor utilizado para testes.....	18
Figura 12 - Amplitude sonora no instante estudado .....	22
Figura 13 - Espectro do ruído emitido pelo motor .....	23

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ficha Técnica Zetec Rocam 1.6 I .....	12
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

dB - Decibel

CM - Centímetros

HZ - Hertz

RPM – Rotações por minuto

## SUMÁRIO

.....	
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	3
2.2 ESTRUTURAS GERAIS DE UM MOTOR QUATRO TEMPOS .....	4
2.2.1 Bloco do motor .....	6
2.2.2 Cabeçote do Motor .....	7
2.2.3 Cáster .....	8
2.2.4 Pistão .....	9
2.2.5 Válvula.....	9
2.3 SISTEMA DE INJEÇÃO ELETRÔNICA .....	10
2.4 SISTEMA DE ARREFECIMENTO.....	10
2.5 MOTOR ZETEC ROCAM 1.6 L .....	11
2.5.1 Especificações técnicas Zetec Rocam 1.6 l .....	12
2.6 DEFINIÇÕES DE FALHAS NOS EQUIPAMENTOS .....	12
2.7 ANÁLISE DE RUÍDOS EM SISTEMAS MECÂNICOS .....	13
2.7.1 Principais fatores de ruídos em motores .....	13
2.7.2 Considerações gerais do mecanismo de ruídos nos motores .....	14
2.7.3 Propagação do som .....	14
2.7.4 Fonte sonora .....	15
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
3.1 DE ACORDO COM A ABORDAGEM.....	16
3.2 DE ACORDO COM O OBJETIVO.....	16
3.3 DE ACORDO COM OS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS .....	17
3.4 METODOLOGIA ESCOLHIDA.....	17
<b>4 DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>18</b>
4.1 CORPO DE TESTE.....	18

4.2 REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO .....	18
4.3 DIAGNÓSTICO DE FALHA.....	19
4.4 ANÁLISE DO RUÍDO .....	20
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>21</b>
5.1 INTENSIDADE SONORA DETECTADA .....	21
5.2 FREQUÊNCIAS DE INTERFERÊNCIA.....	22
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>24</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>26</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Formalmente, a manutenção é definida como a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida (NBR 5462-1994).

As atividades de manutenção compreendem alguns métodos, comumente classificados como corretiva, preditiva e preventiva.

A manutenção corretiva sempre é feita depois que a falha ocorreu. Em princípio, a opção por este método de manutenção deve levar em conta fatores econômicos: é mais barato consertar uma falha do que tomar ações preventivas? Se for, a manutenção corretiva é uma boa opção (XENOS, 2004).

Segundo Xenos (2004), a manutenção preditiva permite otimizar a troca de peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estarão próximos do seu limite de vida.

Manutenção Preventiva consiste na elaboração de um planejamento antecipado de substituição de componentes através do acompanhamento e análise destes componentes nos equipamentos, sendo seu principal objetivo impedir que falhas afetem a performance dos equipamentos, assim aumentando a confiabilidade e fazendo com que estes sempre operem próximos das condições ideais. Existem diversas técnicas de monitoramento sistemático, sendo que entre as comumente utilizadas estão a análise de fluido lubrificante, termografia de sistemas mecânicos, assim como as análises de vibrações, ultrassom e de ruídos.

A melhor manutenção será a combinação mais adequada dos vários métodos de acordo com a natureza e criticidade do equipamento para a produção. A tendência mundial é escolher, para cada caso, o método mais adequado eficiente e econômico (XENOS, 2004).

Todos os componentes de um motor a combustão interna possuem uma vida útil de operação estabelecida em projeto, sendo a duração maior ou menor de acordo com sua determinada função. Todavia a expectativa de vida da peça pode não ser alcançada devido a fatores externos ou internos, de forma que o tempo de

funcionamento previsto pode diminuir drasticamente, comprometendo assim todo o sistema mecânico do equipamento.

Causas como montagem, usinagem e lubrificação podem comprometer a vida útil de projeto das peças, e caso tais componentes sejam simplesmente substituídos pode-se vir a acontecer novamente a mesma falha, pois a causa raiz da falha não foi estabelecida anteriormente. Um dos meios de se identificar a origem do problema é a análise de ruídos causados pelo equipamento.

O som inicia-se a partir de uma vibração em um meio material. Tal vibração causa uma perturbação nas moléculas de ar adjacentes à superfície do material, que colidem com as moléculas vizinhas, e assim sucessivamente, propagando o som no ambiente. Essa colisão entre moléculas cria regiões de alta e baixa pressão.

Mesmo que não utilize intencionalmente a análise sonora, mecânicos automobilísticos desenvolveram uma capacidade de analisar e identificar falhas mecânicas através da audição, em muitos casos a simples intensidade do som emitido pelo motor é suficiente para um pré-diagnóstico seja realizado.

Esta capacidade se dá através da associação de problemas rotineiros na vida de um mecânico com a frequência sonora emitida quando determinada falha acontece.

Assim, para se observar a manutenção em motores de combustão interna, foi proposto um estudo para determinar se existem frequências que permitem este tipo de diagnóstico através unicamente do ouvido humano, o estudo vai procurar evidências de que isto é possível e levantar alguns exemplos. Destes exemplos, verificar quais seriam as condições preferenciais e frequências audíveis associadas.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Motor é uma máquina que converte qualquer forma de energia em trabalho mecânico. Motores a combustão são assim denominados pois transformam energia térmica (calorífica) em trabalho mecânico (energia mecânica).

Motores térmicos “são dispositivos que convertem energia térmica em trabalho (...)” (JUNIOR, 1997).

Motores de combustão interna e externa são exemplos de motores térmicos. Nos motores de combustão interna a mistura ar combustível é queimada no interior do motor, transformando energia térmica em energia mecânica, já nos de combustão externa, o combustível é utilizado para aquecer uma caldeira onde ocorre a vaporização do líquido, transformando a energia térmica em mecânica (JUNIOR, 1997).

Confome Brunetti (2012) um dos motores de combustão interna mais utilizados atualmente é o motor de quatro etapas. Seu funcionamento ocorre através da liberação de energia, devido a uma reação de combustão entre a mistura de ar e combustível injetado, com todo o processo ocorrendo dentro do cilindro do motor.

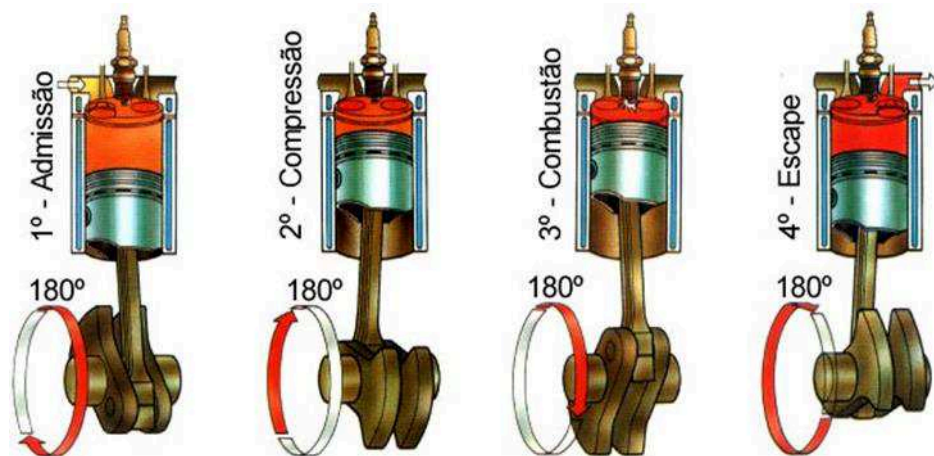
Segundo Brunetti (2012) as quatro etapas de funcionamento do motor são classificadas como:

- a) Admissão: O pistão desloca-se do ponto morto superior ao ponto morto inferior, esse movimento inicia uma sucção (depressão) que criando um fluxo de gases por dentro da válvula de admissão. O cilindro é preenchido com mistura de combustível e gases.
- b) Compressão: Fecha-se a válvula de admissão e o pistão desloca do ponto morto inferior ao ponto morto superior, comprimindo a mistura.
- c) Combustão: Após a compressão, um dispositivo denominado vela libera uma pequena faísca dentro do cilindro, causando a explosão do combustível. A combustão provoca um grande aumento da pressão o que permite “empurrar” o pistão para o ponto morto inferior.

d) Escape: Com válvula de escape aberta, o pistão desloca-se do ponto morto inferior ao ponto morto superior “empurrando” os gases queimados para fora do cilindro, deixando-o livre para iniciar um novo ciclo.

A Figura 1 ilustra as quatro fases do ciclo dividindo-as por tempos, sendo o primeiro admissão, o segundo compressão, o terceiro combustão e finalmente escape sendo o quarto.

**Figura 1 - Representação do ciclo quatro tempos.**



**Fonte: Brunetti (2012)**

## 2.2 ESTRUTURAS GERAIS DE UM MOTOR QUATRO TEMPOS

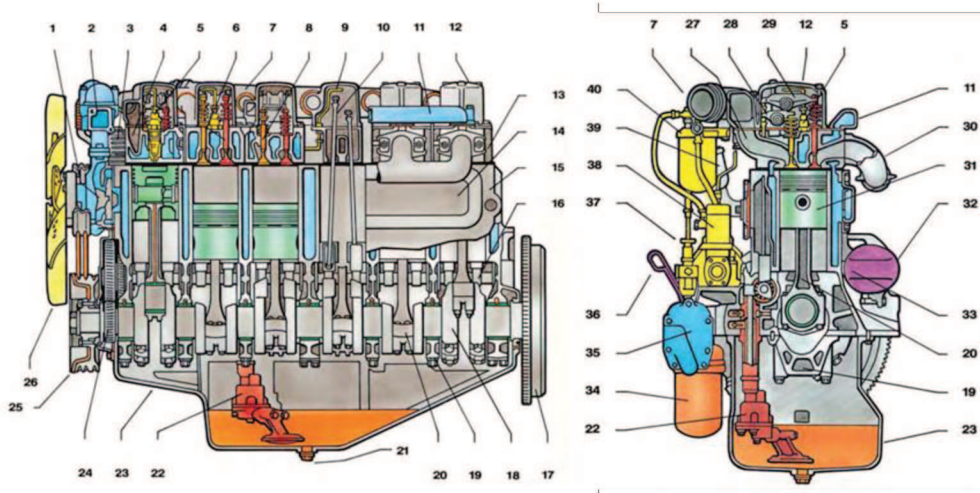
De acordo com Brunetti (2012), a estrutura é projetada de acordo com a capacidade de trabalho do motor, qualquer modificação não estudada no projeto original permitirá que o mesmo esteja sujeito a problemas de desgastes e a quebra prematura de componentes. A estrutura fundamental que constitui o motor é classificada em três partes: Cabeça do motor, bloco do motor e Cárter.

A primeira denominada de Culassa ou cabeça do motor é a parte superior, o bloco normalmente é o componente estrutural do motor e o cárter compõe a parte inferior do motor (MARTINS, 2012).

Mesmo com diferentes modelos, formatos e tamanhos grande parte dos componentes de um motor a combustão interna são iguais, independente do motor a

ser estudado. A Figura 2 demonstra um motor genérico e seus componentes (BRUNETTI, 2012).

**Figura 2 - Componentes de um motor de quatro etapas**

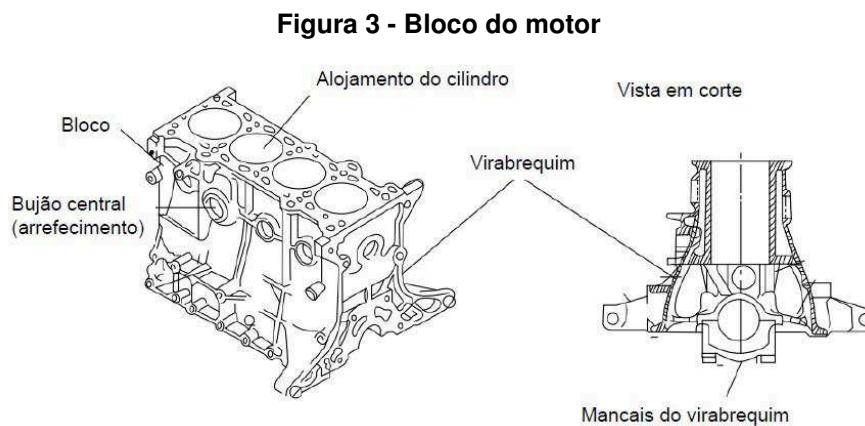


n <sup>o</sup>	Componente	n <sup>o</sup>	Componente
1	Bomba d'água	21	Bujão de escoamento do óleo do cárter
2	Termostato da água de refrigeração	22	Bomba de óleo
3	Compressor de ar	23	Cárter
4	Duto de admissão	24	Engrenagem do eixo virabrequim
5	Bico de injetor	25	Polia Anti - vibradora
6	Válvula de escape	26	Hélice
7	Coletor de admissão	27	Duto de admissão tangencial
8	Válvula de admissão	28	Balancim da válvula de admissão
9	Linha de injeção de combustível	29	Balancim da válvula de escape
10	Vareta de válvula	30	Coletor de escape
11	Duto de saída de água de refrigeração	31	Pistão
12	Tampa de válvula	32	Motor de partida
13	Cabeçote	33	Dreno da água de refrigeração
14	Tampa lateral do bico	34	Filtro de óleo
15	Bloco do motor	35	Radiador de óleo
16	Eixo comando de válvulas	36	Vareta de indicadora do nível do óleo
17	Volante	37	Bomba manual de combustível
18	Eixo virabrequim	38	Bomba injetora
19	Capa do mancal principal	39	Respiro do cárter
20	Biela	40	Filtro de combustível

**Fonte: Brunetti (2012)**

### 2.2.1 Bloco do motor

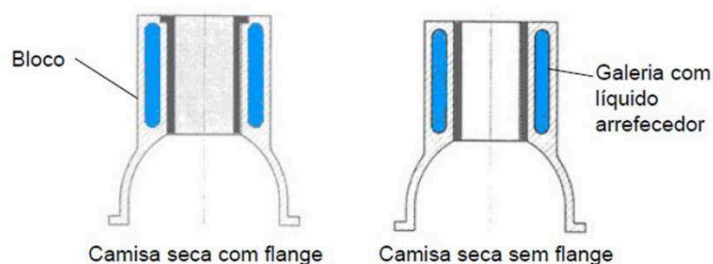
Segundo Bonnick & Newbold (2011), o bloco é construído por uma peça de ferro fundido o qual aloja os cilindros das câmaras de combustão. Conforme a Figura 3, na parte inferior do bloco encontram-se os mancais centrais, neles está apoiado o virabrequim que é ligado no eixo de comando de válvulas. Normalmente os blocos possuem tubos removíveis criando uma parede de cilindros conhecido como “Camisa”, essa camisa pode ser seca ou úmida, dependendo do contato com a água do sistema de refrigeração do motor.



**Fonte: Bonnick & Newbold (2011)**

Camisas secas são introduzidas junto a interferência e o calor formado no interior do cilindro é transmitido do bloco para o líquido arrefecedor. Isto significa que não pode haver obstáculos para a transferência de calor entre as superfícies, portanto as camisas devem ser precisas como mostra na Figura 4 (BONNICK & NEWBOLD, 2011).

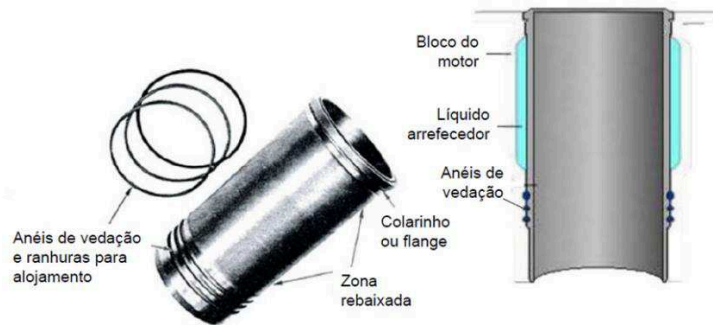
**Figura 4 - Camisa Seca**



**Fonte: Bonnick & Newbold (2011)**

Conforme Bonnick & Newbold (2011), por sua vez, camisas úmidas entram em contato direto com o líquido arrefecedor, devem vedar-se as galerias de fluido de arrefecimento tanto na superfície externa superior como na inferior, ou o fluido atingiria a junta do cabeçote ou o cárter. Esta vedação é normalmente feita através do uso de juntas de vedação ou anéis e de um colarinho (flange) como mostra na Figura 5.

**Figura 5 - Camisa Úmida**



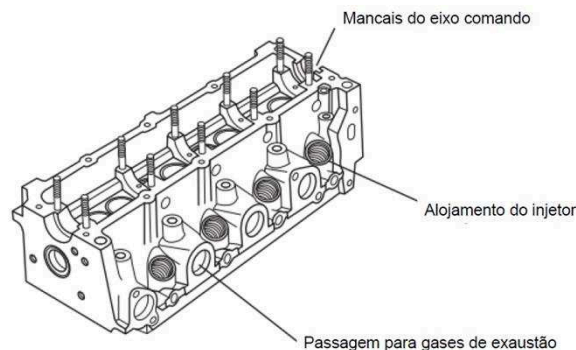
**Fonte: Bonnick & Newbold (2011)**

## 2.2.2 Cabeçote do Motor

O cabeçote é usualmente fabricado através da fundição em liga de alumínio ou ferro fundido. Suas principais funções são o suporte adequado ao eixo de comandos, velas, válvulas e injetores de combustível, unir as câmaras de combustão em conjunto com os cilindros e pistões e propiciar a adequada lubrificação e arrefecimento da peça por onde são suportadas (BONNICK & NEWBOLD, 2011).

A Figura 6 detalha a disposição do alojamento do injetor e da passagem de gases no cabeçote.

**Figura 6 - Cabeçote do Motor**

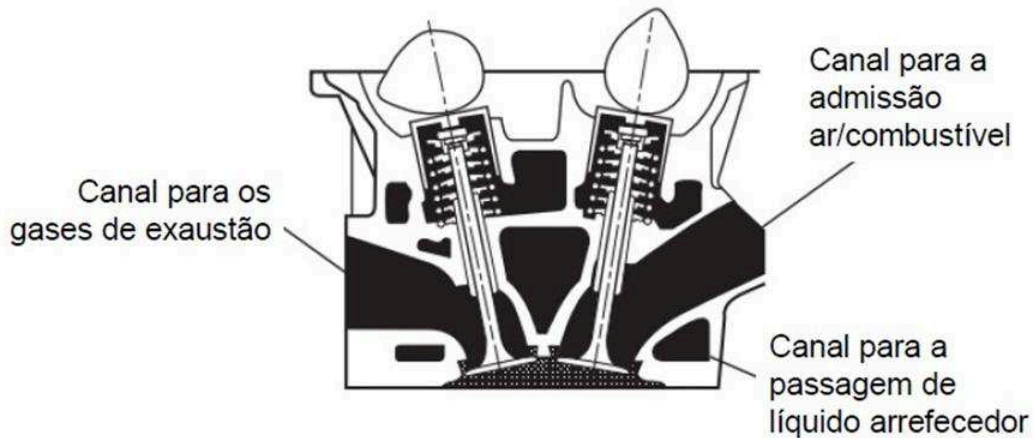


**Fonte: Bonnick & Newbold (2011)**

Na seção transversal mostrada Figura 7 podem ser vistas as passagens para o líquido arrefecedor. O cabeçote é parte integrante das câmaras de combustão, e quando o motor se encontra em operação, ao atingem uma elevada temperatura o

fluxo de líquido arrefecedor impede o superaquecimento (BONNICK & NEWBOLD, 2011).

**Figura 7 - Vista frontal do cabeçote**



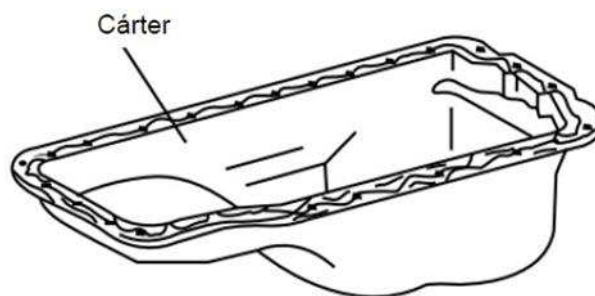
Fonte: Bonnick & Newbold (2011)

Segundo Bonnick & Newbold (2011) o cabeçote é unido ao bloco através de parafusos ou prisioneiros. A junção do bloco com o cabeçote é vedada através da aplicação da junta do cabeçote, sendo construída em materiais resistentes a altas temperaturas e pressões.

### 2.2.3 Cáster

De acordo com Bonnick & Newbold (2011) o cáster de óleo do motor é uma peça geralmente feita em aço estampado ou fundido em liga de alumínio, tendo como principal função a de reservatório do óleo lubrificante do motor, como mostra na Figura 8.

**Figura 8 - Cáster do Motor**

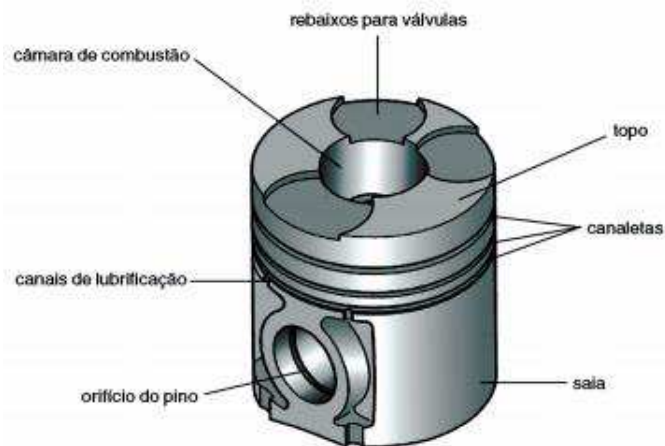


Fonte: Bonnick & Newbold (2011)

### 2.2.4 Pistão

De acordo com Cordeiro & Azeredo (2013), os pistões transferem a potência gerada pela câmara de combustão, recebendo a força da expansão dos gases queimados e a transmitindo para biela e são ligados por componente chamados pino do pistão. A biela transfere o movimento linear de sobe e desce para o virabrequim onde o movimento se torna rotativo. São peças submetidas à grande variação de temperatura e pressão, sendo normalmente construídos em liga de alumínio ou ferro fundido. Em suas laterais existem canais onde são montados os anéis de compressão, raspagem e lubrificação. A Figura 9 mostra um pistão acoplado à biela através do pino de pistão que é responsável por unir as duas peças permitindo sua movimentação.

**Figura 9 - Partes constituintes de um pistão**



**Fonte: Tillmann (2013)**

### 2.2.5 Válvula

Segundo Tillmann (2013) as válvulas são definidas como peças que são responsáveis por regular a entrada e saída de gases no cilindro. Existem dois modelos de válvulas com características distintas, sendo a primeira utilizada para o escape e a segunda para admissão, essas válvulas são acionadas pelo sistema de comando.

O movimento do virabrequim passa no eixo de comando de válvula entre as engrenagens criando a união entre as varetas do eixo balancins que passam na movimentação do motor que acionará a válvula. É a abertura e o fechamento das

válvulas em conjunto com movimento de pistão e ponto de injeção que permite o funcionamento do motor (TILLMANN, 2013).

### 2.3 SISTEMA DE INJEÇÃO ELETRÔNICA

Conforme Glehn (1999), a injeção eletrônica é um sistema de alimentação de combustível, gerenciado através de comando eletrônico, que raciona o combustível controlando a mistura ar combustível em função das necessidades frequentes do motor.

Tem a finalidade de oferecer equilíbrio ao funcionamento do motor, através do monitoramento da mistura ar combustível e do avanço de ignição em qualquer regime de trabalho, proporcionando maior desempenho, baixo consumo, facilidade de partida a frio e a quente e, principalmente, menor emissão de poluentes (GLEHN, 1999).

### 2.4 SISTEMA DE ARREFECIMENTO

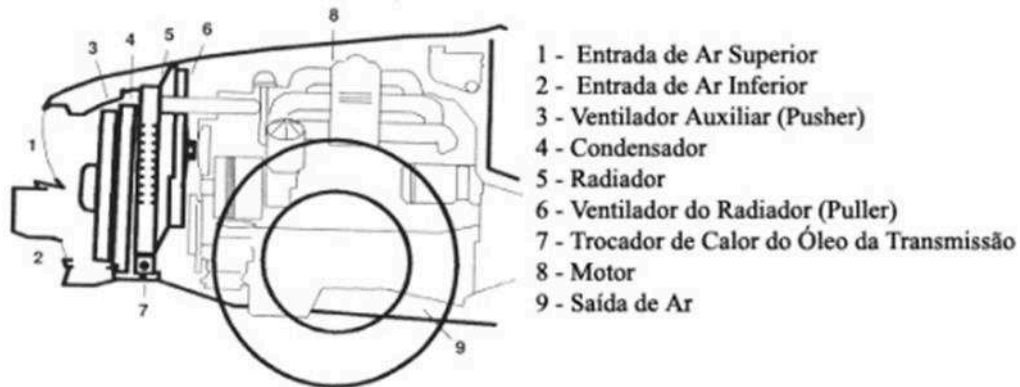
Segundo Bonnick & Newbold (2011), a requisição fundamental para o sistema de arrefecimento é comprovar que os componentes do motor sejam adequadamente resfriados sobre todas as condições operacionais do veículo.

Conforme a Figura 10 o sistema é composto pelos seguintes elementos:

- a) Dois ventiladores auxiliares externos com finalidades de “empurrar” e “puxar” o ar através dos módulos;
- b) Condensador para proporcionar o conforto térmico da cabine;
- c) Defletor de ar do radiador para dimensionar e otimizar o escoamento;
- d) Trocador de calor do óleo para arrefecimento da caixa de transmissão automática;

**Figura 10 - Componentes do sistema de arrefecimento**





Fonte: Hucho (1998)

Segundo Quim (2007), no sistema convencional de resfriamento por água pequenos cuidados devem ser escolhidos para que o líquido de arrefecimento do motor que não apresente superaquecimento, caso contrário ocorrerá o rompimento do filme do óleo causando perda de lubrificação e conseqüentemente ocorrendo o travamento dos pistões.

## 2.5 MOTOR ZETEC ROCAM 1.6 L

O motor 1.6 l Zetec Rocam é um motor transversal com 4 cilindros e tem o comando de válvulas acionadas por uma corrente e ajuste hidráulico.

De acordo com o Ford Motor Company (2005) as características do motor são:

- a) Bloco do cilindro de ferro com carcaça da corrente de sincronismo;
- b) Virabrequim funciona com 5 rolamentos;
- c) Cabeçotes de liga de alumínio com carcaça de corrente de sincronismo integrada;
- d) Árvore de comando funciona com 5 rolamentos;
- e) 2 válvulas por cilindro;
- f) Seguidores de roldana;
- g) Ajuste da folga das válvulas com tuchos hidráulicos;
- h) 2 formatos de juntas de cabeçote;
- i) Cárter de óleo de ferro;
- j) Módulo de entrada de ar integrado com a borboleta, sensores, válvula IAC e sensor T-MAP;

- k) Bomba de óleo via Árvore de Comando;
- l) Módulo de controle do trem de força;

Por meio do comando de correntes do motor rocam realizou-se modificações fundamentais para o bom funcionamento do veículo. A corrente de comando é feita de aço e recebe a lubrificação do óleo do motor.

### 2.5.1 Especificações técnicas Zetec Rocam 1.6 I

Quadro 1 - Ficha Técnica Zetec Rocam 1.6 I

<b>Motor Zetec Rocam 1.6 válvulas</b>	
Cilindrada	1598 cm <sup>3</sup>
Diâmetro	82,07 mm
Potência específica	66,96 cv/L
Taxa de compressão	12,3:1
Potência máxima	107 cv (A) e 101 cv (G) a 5500 rpm
Torque máximo	15,3 kgfm (A) e 14,5 kgfm a 4750 rpm
Gerenciamento do motor	Sistema de gerenciamento de motor SLIM 21, detecção de carga via temperatura e sensor de pressão do coletor de admissão (T-MAP) e injeção de combustível sequencial controle de emissões do motor

Fonte: Ford Motor Company (2005)

## 2.6 DEFINIÇÕES DE FALHAS NOS EQUIPAMENTOS

Segundo a Norma NBR 5462-1994, “a falha é o termino da capacidade de um item desempenhar a função requerida. É a diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça, componente ou máquina de desempenhar a sua função durante um período de tempo, quando o tirem deverá ser reparado ou substituído. A falha leva o item a um estado de indisponibilidade”.

As possíveis causas de falhas em equipamentos podem ser divididas em três principais grupos: falta de resistência, uso inadequado ou manutenção inadequada. Problemas no projeto, equívocos nas especificações ou erros de fabricação e montagem são atribuídos à falta de resistência.

O uso inadequado significa a aplicação de esforços que estão fora da capacidade do equipamento e pode resultar de erros durante sua operação. Finalmente, a manutenção inadequada significa que as ações preventivas para evitar a deterioração dos equipamentos são insuficientes ou não estão sendo corretamente tomadas (XENOS, 2004).

## 2.7 ANÁLISE DE RUÍDOS EM SISTEMAS MECÂNICOS

A identificação de fontes de ruído e a determinação do nível de potência sonora de máquinas e equipamentos são importantes em numerosas áreas de fabricação. Dessa forma, ao definir-se dentre os métodos existentes, qual o mais adequado para a determinação do nível de potência sonora (através de medições do nível de pressão sonora ou intensidade sonora), deve-se tomar como parâmetros de escolha os seguintes fatores: necessidade de ambientes acústicos especiais (câmara reverberante ou anecóica), tempo de medição, precisão nas medições, custo dos equipamentos de medição, entre outros (PACHECO, 2004).

São três os mais utilizados métodos para determinação da potência sonora: Medições do nível de pressão sonora em câmara anecóica e reverberante, medições de intensidade de superfície (utilizando um microfone e um acelerômetro montado sobre a superfície vibrante) e método de intensidade sonora (métodos dos dois microfones por varredura e ponto-a-ponto).

### 2.7.1 Principais fatores de ruídos em motores

Segundo Rust, Pribsch e Thien (1990) as fontes de ruídos existente nos motores são de duas categorias distintas. A primeira categoria pode considera todos os componentes externos do motor como fonte de ruído que irradiam a energia sonora diretamente para o meio ambiente, sem que tenha a ocorrência da troca de energia com outros componentes (reservatório de óleo, virabrequim, tampa de válvula entre outros) que podem ser classificados como nível de ruído.

Na segunda categoria são considerados diferentes processos de ruído que são transmitidos através das estruturas no motor de combustão interna, apresentando a

irradiação do ruído na superfície do motor para ter uma melhor compreensão dinâmica. Os ruídos dos motores podem ser dividido em dois tipos: combustão e mecânica.

O ruído de combustão representa a parcela de ruído irradiado do motor, originado pela variação brusca da pressão dos gases no interior da câmara de combustão. O mecânico é o ruído do motor que consiste na parcela do ruído de combustão.

### **2.7.2 Considerações gerais do mecanismo de ruídos nos motores**

Um motor automotivo tendo os seus componentes (bomba de óleo, sistemas de injeção e água entre outros) que não contribuem na obtenção do nível de ruído do motor.

Segundo Pacheco (2004) a modelagem do motor pode ser considerada como sendo composta por dois elementos estruturais básicos:

- a) Excitação interna da estrutura: tendo uma conexão nos sistemas de biela-virabrequim e pistão-biela.
- b) Excitação da estrutura via transmissão pelo bloco do cilindro.

A excitação interna da estrutura (a) é mecanicamente separada da excitação estrutural (b), pela existência de folgas entre os sistemas pistão-cilindro e biela-virabrequim. A parte inferior da modelagem representa as folgas existentes no mancal do virabrequim, bem como os efeitos das forças reversíveis e unidirecionais. O virabrequim e o pistão se encontram representados por duas massas unidas por molas (PACHECO, 2004).

### **2.7.3 Propagação do som**

Segundo a ISO 3745 (2003) quando o som se inicia a partir uma determinada vibração em um meio material, causa uma perturbação nas moléculas de ar situadas na superfície do material colidindo com as moléculas vizinhas, e assim sucessivamente, propagando o som no ambiente. Conforme a superfície vibra, o pistão move para frente e comprimindo as moléculas de ar e quando o pistão desce

cria uma região de pressão. Essa região de pressão faz com que o som possa ser modelado por uma onda e tendo amplitude e frequência.

#### **2.7.4 Fonte sonora**

Conforme a ISO 3745 (2003) qualquer corpo que emita som pode ser chamado de fonte sonora, mesmo fonte sonora que possuam dimensões desprezíveis em relação ao ambiente em que está localizada. Fontes pontuais emitem frentes de onda de forma esférica e, quando apoiadas sobre uma superfície, emitem de forma semiesférica.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 DE ACORDO COM A ABORDAGEM**

Uma vez que foi definido o problema a ser estudado, a próxima etapa deve ser a escolha do modelo de pesquisa que encaminhará as posteriores ações. Referente a abordagem do problema, esse modelo de pesquisa pode ser classificado como qualitativo ou quantitativo conforme Gil (1991).

Consideramos a pesquisa como quantitativa, onde os problemas podem ser mensuráveis em busca de análises e soluções, através da utilização de técnicas estatísticas e ferramentas da qualidade (SILVA & MENEZES, 2005).

#### **3.2 DE ACORDO COM O OBJETIVO**

De acordo com os objetivos, as pesquisas podem ser classificadas em Pesquisa Exploratória, Pesquisa Descritiva e Pesquisa Explicativa (GIL, 1991).

Segundo Gil (1991) as pesquisas exploratórias têm como finalidade promover maior familiaridade com o problema e torna-lo concebível visto que o mesmo pode ser construído baseado em hipóteses ou intuições abrangendo levantamento bibliográfico, citações e exemplos que contribuam para a compreensão do assunto, além de entrevistas com pessoas que tiveram conhecimento prático com o problema pesquisado. Pesquisas bibliográficas e estudos de caso são muito aplicados nas pesquisas exploratórias, uma vez que utilizam muito a intuição do pesquisador.

A Pesquisa Descritiva tem como princípio descrever minuciosamente o objeto de estudo (população, fenômeno, problema) utilizando coleta e levantamento de dados qualitativos, mas principalmente quantitativos (GIL, 1991).

A pesquisa explicativa busca identificar e explicar as causas de determinado problema a ser estudado, expondo a realidade ao explicar a razão das coisas. Costumam dar continuidade a pesquisas descritivas e exploratórias, uma vez que oferecem uma visão mais detalhada do assunto e do tema abordado.

### 3.3 DE ACORDO COM OS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Segundo Gil (1991), os procedimentos técnicos são classificados em: Pesquisa Bibliográfica cuja qual é desenvolvida baseada em materiais já elaborados, composto principalmente por livros e artigos científicos; Pesquisa Documental, semelhante a bibliográfica, porém trata-se de materiais que ainda não foram avaliados criticamente; Pesquisa Experimental, consiste em estabelecer formas de controle e de observação dos resultados que a variável origina.

### 3.4 METODOLOGIA ESCOLHIDA

Para a realização deste estudo optou-se por utilizar a pesquisa experimental, devido ao objetivo visado, o qual se pretende identificar à relação sonora com falhas mecânicas de motores a combustão interna através da análise de frequência de ruídos emitidos.

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 CORPO DE TESTE

O motor automotivo utilizado na realização dos testes foi o Zetec Rocam 1.6 l de fabricação nacional pela Ford do Brasil, cedido pelo professor orientador deste estudo. Sua fabricação ocorreu em 2008 e no momento do estudo seu odômetro indicava aproximadamente 235.000 quilômetros rodados.

### 4.2 REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O veículo o qual pertence o motor foi locado em uma sala livre de interferências de ruídos prejudiciais para o experimento conforme Figura 11. Ao posicionar-se o motor foi estabelecida uma distância de 30 cm entre o gravador sonoro e a mídia de estudo.

**Figura 11 - Motor utilizado para testes**



**Fonte: Próprio Autor (2018)**

A fim de averiguar as condições ideais para um diagnóstico foram realizados dois procedimentos com diferentes condições de funcionamento do objeto.



Primeiramente estabeleceu-se um intervalo de 60 segundos entre o momento de aceleração e desaceleração do motor, com a queda de rotações por minuto iniciando no instante em que o cronometro atingir 30 segundos.

Estabelecido os parâmetros, realizou-se a primeira gravação visando mapear o ruído de funcionamento a baixa rotação por segundo. A gravação iniciou partindo do repouso e logo após o início de funcionamento do motor a 0 rpm elevando-se a rotação gradualmente para 1000 rpm em um intervalo de 30 segundos. Ao atingir a rotação máxima requerida deu-se início a desaceleração gradual sendo que o odômetro indicava 0 rpm ao fim de um minuto.

A segunda tomada de dados foi realizada visando obter o ruído do motor quando o mesmo estava trabalhando em altos ciclos por minuto, para isso a gravação do áudio começou no momento em que o motor atingiu 1000 rpm, sendo que por 30 segundos foi empregada a máxima aceleração para que ao fim desse intervalo de tempo o odômetro indicasse 3000 rpm. Novamente ao atingir a rotação máxima requerida deu-se início a desaceleração gradual até o motor entrar em repouso.

### 4.3 DIAGNÓSTICO DE FALHA

A fim de guiar o experimento na análise de defeitos que o motor apresentava, as capturas de áudio realizadas foram apresentadas a um mecânico automobilística para que o mesmo pudesse diagnosticar o problema encontrado no motor, ou possivelmente a falta de defeitos.

Analisando apenas através da audição livre o mecânico encontrou pequenas batidas no momento de desaceleração em ambos os áudios, as quais se atribui a causa como a saia do pistão. Devido a sua experiência profissional foi diagnosticado que havia um espaçamento entre o cilindro do motor e o pistão a ele acoplado, tal falha pode ocorrer devido a múltiplos fatores como lubrificação incorreta do motor, desgaste do pistão ou falta de manutenção. Com a falta entre o pistão e a camisa do cilindro ao se movimentar há pequenas batidas entre a parte inferior do pistão, denominada saia, com o cilindro.

#### 4.4 ANÁLISE DO RUÍDO

Ao obter o diagnóstico mecânico realizou-se uma investigação com o propósito de encontrar indícios de que a análise por ruído era viável.

Ambos os áudios captados foram movidos para um computador. A busca indícios de defeitos foi guiada com base nas informações descritas pelo mecânico, devendo-se localizar ruídos de batidas nos áudios analisados.

O software Sonic Visualiser 3.1.1 de licença gratuita, desenvolvido por Centre for Digital Music da Universidade de Londres, Inglaterra, foi utilizado nas análises realizadas com os áudios. O programa tem a capacidade de analisar mídias sonoras digitais fornecendo suas amplitudes e espectros ao longo de um intervalo.

Realizou-se uma análise de nível sonoro que visa captar a intensidade ou nível de pressão sonora que o áudio está emitindo sendo apresentada em uma unidade logarítmica de decibéis em comparação com o nível padrão de pressão sonora atmosférica.

Como o mesmo software apresentado acima foi executada uma análise de espectro sonoro para obter a faixa de frequências em que as ondas do ruído estavam, e classifica-las como audível ou não para o ouvido humano.

Por fim, o áudio foi mais uma vez analisado através unicamente do ouvido humano por membros do projeto, a fim de estabelecerem uma relação sobre o que uma audição treinada, no caso do mecânico, e uma audição de um indivíduo comum diferem quando submetidas para análise do ruído.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

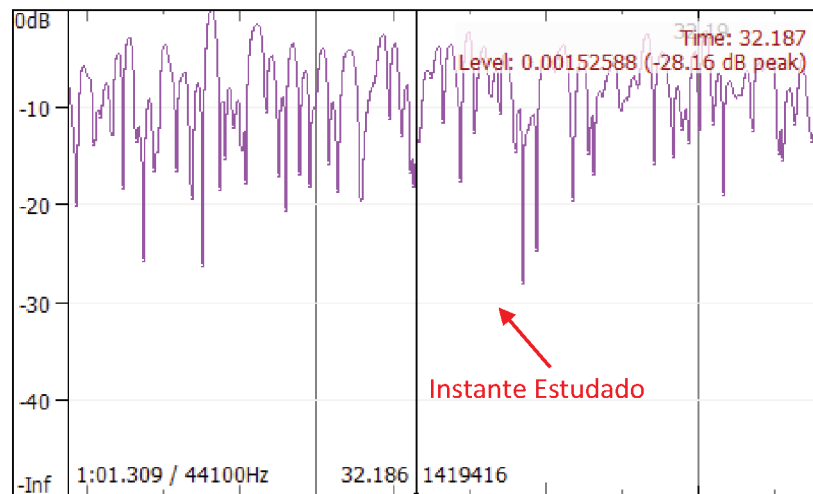
Os movimentos mecânicos bruscos produzem flutuações na pressão atmosférica que se propagam na forma de ondas que, ao atingir o ouvido, produzem a sensação sonora. São duas as características de um som sendo frequência o número de flutuações ou vibrações por segundo expressa em hertz (Hz) e o ouvido humano é capaz de perceber sons na frequência de 20 a 20.000 Hz. Ou característica é a intensidade a qual depende da energia das oscilações e é definida em termos de potência por unidade de área. Como a gama de intensidades de sons audíveis é muito grande, convencionou-se medi-las por uma unidade logarítmica chamada de decibel (dB). O ouvido humano é capaz de perceber sons de 20 a 120 dB.

O uso do gravador apresenta-se como uma opção viável para captação do som direto, especialmente em função da resposta obtida em relação a captação do som que soa “mais natural”. O gravador capta, além do sinal direto do som que chega até ele, o sinal do campo reverberante, resultado das reflexões das ondas sonoras da voz, do espaço no qual o ambiente se desenvolve.

### 5.1 INTENSIDADE SONORA DETECTADA

A partir da análise de nível sonoro detectou-se que em vários momentos a amplitude sonora atingia picos, então decidiu-se estudar o instante de 32,187 segundos onde havia uma dessas anormalidade Figura 12 na intensidade sonora do áudio referente ao experimento, o mesmo realizado com as condições operacionais de alta taxa de rotações por minuto. Tal anormalidade tornava-se evidente pois no instante citado a intensidade medida pelo software foi de 28,16 dB, sendo que nos momentos prévios e seguintes ao instante de anormalidade a intensidade máxima encontrava-se em uma faixa de 19,05 a 21,67 dB

**Figura 12 - Amplitude sonora no instante estudado**



**Fonte: Próprio Autor (2018)**

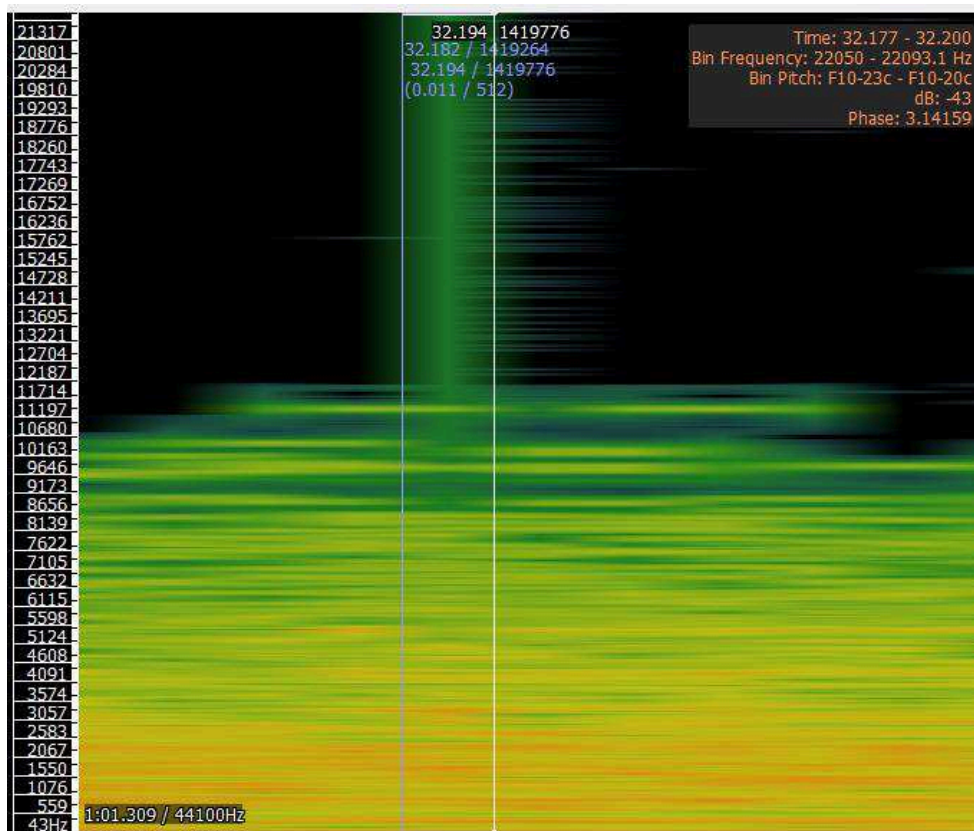
## 5.2 FREQUÊNCIAS DE INTERFERÊNCIA

Ao perceber-se que no instante de 32,187 segundos havia uma alteração amplitude média no áudio, o momento citado acima foi utilizado como referência para a análise de espectro.

Ao se analisar as frequências presentes no ruído, notou-se que em um intervalo de 12.000 microssegundos iniciando-se em segundo 32,182 do áudio era possível notar frequências incomuns com as detectadas no som durante o período de funcionamento do motor.

Conforme a Figura 13 observa-se que as frequências normais emitidas por um ruído do motor encontram-se abaixo de 12.000 Hz. Esta gama espectral acompanha o áudio em grande parte do período sendo considerada normal e atribuída a o bom funcionamento mecânico do motor.

**Figura 13 - Espectro do ruído emitido pelo motor**



**Fonte: Próprio Autor (2018)**

As frequências encontradas no instante de 32,187 segundos estavam entre 12.230,9 Hz à 22.093,1 Hz, levando em consideração que a faixa de frequência citada pode gerar sons agudos, atribuiu-se essas pequenas interferências a falha analisa.

Ao analisar o ruído captado pelo motor em baixa rotação por minuto utilizando apenas o ouvido humano, não se obteve nenhuma evidência de que falhas poderiam estar ocorrendo, sendo que mesmo na análise computacional não foi detectado nenhuma anormalidade por parte do software.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Procurar sobre novas técnicas de manutenção ou maneiras de torna-las mais eficientes é de grande relevância para a indústria mecânica. O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise sobre as condições operacionais necessárias para realizar o modelo de manutenção proposto, o qual visa identificar através de ruídos, falhas mecânicas em motores a combustão interna em veículos. Além disso, ao explorar o tema de manutenção foi possível obter dados referentes à frequência em que falhas podem ocorrer e quais os sinais que elas transmitem.

Ao realizar as análises sonoras por meio de softwares computacionais, verificou-se que as condições operacionais inicialmente propostas não foram relevantes para detecção de falhas. Ao consultar o mecânico o mesmo informou que a condição necessária de diagnóstico seria o momento de desaceleração, independentemente das rotações por minuto, marcha e ou combustível utilizado, a informação obtida foi confrontada com os resultados demonstrados pelo software, em que apenas no momento de desaceleração notou-se anomalias ou interferências no ruído, sendo posteriormente atribuídas a falha.

Analisando a intensidade sonora emitida pelo ruído em relação ao tempo, observou-se que durante todo o período da gravação, a amplitude demonstrada no gráfico da Figura 12 foi satisfatória para que o ouvido humano pudesse detectar variações, e como demonstrado no diagnóstico do mecânico, em nosso teste foi possível identificar o momento exato em há um ruído estranho no funcionamento do motor.

Interferências foram notadas na gama de 12.230,9 Hz à 22.093,1 Hz, no intervalo de 32,187 segundos, sendo que tais frequências apenas eram notadas em instantes que a batida causada pela falha ocorria. Também se averiguou que as frequências emitidas pelo som gravado eram perceptíveis para a audição humana e que as a faixa captada pode ser atribuída a sons agudos, tais como a batida de um pistão metálico na parede de um cilindro também metálico.

A partir dos dados apresentados conclui-se que em variadas condições a análise de ruídos para determinar falhas mecânicas pode sim ser viável, destacando-se como um processo rápido e praticamente sem custos. Todavia devido a vasta gama de defeitos que um motor pode apresentar e os ruídos específicos de cada modelo,

além do fator humano em que cada mecânico pode constatar um defeito diferente para o mesmo ruído o estudo não recomenda a utilização deste método como principal ferramenta para detecção de falhas, e sim como material de apoio para pré-diagnóstico.

## REFERÊNCIAS

BONNICK, A.; NEWBOLD, D. **A Practical Approach to Motor Vehicle Engineering and Maintenance**. 3. ed. Oxford: Elsevier, 2011. 370 p.

BRUNETTI, F.; **Motores de combustão interna** (Volume 1). Mauá: Editora Edgard Blucher Ltda, 2012. 553 p

FORD MOTOR COMPANY. **Manual de Serviço Seção 303-01A Motor Zetec Rocam 1.6 I**, p. 128, 2005.

GIL, A. C., **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª edição, São Paulo. Editora Atlas, 1991

GLEHN, F. R. V. **Curso de injeção eletrônica**. Goiânia. 1999.

HUCHO, W. H., **Aerodynamics of Road Vehicles, From Fluid Mechanics of Vehicle Engineering** 4 Edition 1998, SAE International.

ISO 3745 “**Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for anechoic and hemi-anechoic rooms**”. 2<sup>nd</sup> ed. 2003.

MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**. 4. Ed. Porto: Publindústria, 2012.

NEWTON, K. ; STEEDS, W.; GARRETT, T. K. **The Motor Vehicle**. 12. ed. Oxford Boston Johannesburg: Society Of Automotive Engineers, 1996. 999 p.

OLIVEIRA JUNIOR, D. Piza de. **Motores de combustão interna**. Piracicaba: FATEC, 1997. 129 p

PACHECO, E. A. **Quantificação do ruído de combustão em um motor ciclo otto usando diferentes combustíveis de competição através da técnica de intensidade sonora**. 2002. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

QUIM, N.; **Desenvolvimento de Uma Metodologia de Simulação Aplicada do Sistema de Arrefecimento Veicular**, 2007. 170 p

SILVA E. L., MENEZES E. M., **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª edição revisada e atualizada, Florianópolis. UFSC, 2005.

TILLMANN, C. A. da C.; **Motores de combustão interna e seus sistemas**. Pelotas – RS, 2013. 166 p