

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
TECNOLOGIA EM MECÂNICA AUTOMOBILÍSTICA

Lucas Munhoz Araújo
Gabriel Oliveira Caldas da Nóbrega
Vinicius Messias dos Santos

**Método de melhoria acústica para veículos automotores de uso urbano e
rodoviário**

Santo André
2024

Lucas Munhoz Araújo
Gabriel Oliveira Caldas da Nóbrega
Vinicius Messias dos Santos

**Método de melhoria acústica para veículos automotores de uso urbano e
rodoviário**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Paula Souza –
Fatec Santo André, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do
título de Tecnólogo em Mecânica
Automobilística. Orientado pelo Prof.
“Me. Eliel Wellington Marcelino”.

Santo André

2024

FICHA CATALOGRAFICA

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 29 de junho de 2024.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
“MÉTODO DE MELHORIA ACÚSTICA PARA VEÍCULOS
AUTOMOTORES DE USO URBANO E RODOVIÁRIO” DOS
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. FERNANDO GARUP DALBO

MEMBROS:

PROF. ORLANDO DE SALVO JUNIOR

PROF. LUIS ROBERTO KANASHIRO

ALUNOS:

GABRIEL OLIVEIRA CALDAS DA NÓBREGA

LUCAS MUNHOZ ARAÚJO

VINÍCIUS MESSIAS DOS SANTOS

Aos nossos familiares, amigos e entes queridos,
pelo auxílio, ensinamentos e encorajamento
para conclusão e conquista de nossos objetivos.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de dedicar este espaço para expressar nossa profunda gratidão a todas as pessoas que contribuíram de maneira significativa para a conclusão deste trabalho e para a nossa jornada acadêmica como um todo.

Em primeiro lugar, gostaríamos de agradecer às nossas famílias e amigos, que nos apoiaram incondicionalmente durante toda a trajetória acadêmica. Seu amor, incentivo e compreensão foram pilares essenciais para o sucesso. Agradecemos por estarem ao nosso lado, oferecendo seu apoio emocional e encorajamento constante.

Este trabalho é resultado de um esforço coletivo e todos mencionados aqui desempenharam um papel fundamental em nossa jornada acadêmica. Seremos eternamente gratos a todos que fizeram parte dessa caminhada, deixando uma marca indelével em nossa formação.

Obrigado a todos pelo apoio, orientação e confiança que nos foram depositados. Este trabalho não seria possível sem cada um de vocês.

"Se não pensar no futuro, não terá um"

Henry Ford

RESUMO

A utilização de veículos automotores é o maior meio de locomoção utilizado mundialmente, tanto para uso pessoal quanto de uso comercial. Os veículos leves são os meios de locomoção com maior volume de produção em série, visando sempre rendimento e performance, porém não é somente essas características que são visadas também é levada em consideração o conforto dos ocupantes do veículo como acústica e conforto térmico. A acústica na mecânica automotiva é um campo crucial que se concentra no estudo e controle do som gerado pelos veículos que pode ser gerada pelo conjunto do motor, aerodinâmica, e o ruído de rodagem dentre outros. Ela aborda tanto a produção de ruído indesejado quanto a otimização de sistemas de áudio que pode ser *air borne noise* que é o ruído gerado pelo ar e o *structural borne noise* que é o ruído gerado pela carroceria ou outro componente. Características como isolamento acústico, absorção de ruído, design de escapamentos e aprimoramento de sistemas de som são elementos essenciais para proporcionar conforto e segurança aos ocupantes, bem como para atender às regulamentações de emissões sonoras. Portanto, a acústica desempenha um papel significativo na melhoria da experiência do condutor e dos passageiros, assim como na conformidade com padrões de qualidade e regulamentos de segurança.

Palavras-chave: Acústica. Ruído. *Air borne noise*. *Structural borne noise*.

ABSTRACT

The use of motor vehicles is the largest means of transportation used worldwide, both for personal and commercial use. Light vehicles are the means of transportation with the highest mass production volume, always aiming for yield and performance, but it is not only these characteristics that are targeted, the comfort of the vehicle's occupants, such as acoustics and thermal comfort, is also taken into account. Acoustics in automotive mechanics is a crucial field that focuses on the study and control of the sound generated by vehicles, which can be generated by the engine assembly, aerodynamics, and road noise, among others. It addresses both the production of unwanted noise and the optimization of audio systems, which can be “air borne noise” which is noise generated by air and “structural borne noise” which is noise generated by the bodywork or other component. Features such as acoustic insulation, noise absorption, exhaust design and sound system enhancements are essential elements to provide comfort and safety to occupants, as well as to meet noise emissions regulations. Therefore, acoustics play a significant role in improving the driver and passenger experience, as well as complying with quality standards and safety regulations.

Keywords: Acoustics. Noise. Air borne noise. Structural borne noise.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variações de pressão ambiente em função do tempo para sons	18
Figura 2 - Formas de ondas sonoras. (a) Tom puro, (b) ruído.....	19
Figura 3 - Curvas de mesmo nível de audibilidade para tons puros.....	21
Figura 4 - Formas de transmissão do ruído ao habitáculo	23
Figura 5 - Fontes de ruído veicular e vias de transmissão para o interior do habitáculo.	24
Figura 6 – Powertrain de um Veículo.....	25
Figura 7 – Classificação de ruído de um pneu.....	26
Figura 8 - Esquema do processo de percepção do ruído em veículos.	26
Figura 9 - Tipos de estrutura de materiais porosos.....	27
Figura 10 - Gráfico típico de absorção sonora para materiais absorventes.	29
Figura 11 - Influência da variação da espessura de materiais porosos/ fibrosos.	29
Figura 12 - Influência da variação da densidade de materiais porosos/ fibrosos.	30
Figura 13 - Difração	31
Figura 14 - Veículo utilizado.....	35
Figura 15 - Material Acústico.....	36
Figura 16 - Decibelímetro.....	37
Figura 17 - Fluxograma do projeto.....	38
Figura 18 - Interior do Veículo Original	39
Figura 19 - Veículo sem isolamento acústico.....	39
Figura 20 - Veículo com isolamento acústico adicional.....	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - NPS dentro do veículo ar desligado	47
Gráfico 2 - NPS dentro do veículo ar ligado velocidade 2	48
Gráfico 3 - NPS fora do veículo ar desligado.....	48
Gráfico 4 - NPS fora do veículo ar ligado velocidade 2.....	49
Gráfico 5 - Fones dentro do veículo Ar desligado.....	49
Gráfico 6 - Fones dentro do veículo Ar ligado velocidade 2.....	50
Gráfico 7 - Fones fora do veículo Ar desligado	50
Gráfico 8 - Fones fora do veículo Ar ligado velocidade 2	51
Gráfico 9 - Sones dentro do veículo Ar desligado.....	51
Gráfico 10 - Sones dentro do veículo Ar ligado velocidade 2.....	52
Gráfico 11 - Sones fora do veículo Ar desligado	52
Gráfico 12 - Sones fora do veículo Ar ligado velocidade 2	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Veículo em condição original	41
Tabela 2 - Veículo sem isolamento acústico	42
Tabela 3 - Veículo com isolamento acústico adicional	43
Tabela 4 - Cálculos de Temperatura.....	44
Tabela 5 - Cálculos dados dentro do veículo.....	45
Tabela 6 - Cálculos dados fora do veículo	46
Tabela 7 - Ficha de medição.....	58

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Frequência	Erro! Indicador não definido.
Equação 2 - Comprimento de Onda	Erro! Indicador não definido.
Equação 3 - Escala Decibel	Erro! Indicador não definido.
Equação 4 - Nível de pressão sonora.....	Erro! Indicador não definido.
Equação 5 - Resistência de Fluxo.....	Erro! Indicador não definido.
Equação 6 - Porosidade	Erro! Indicador não definido.
Equação 7 – Impedância clássica	Erro! Indicador não definido.
Equação 8 - Impedância Característica	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE PROCEDIMENTOS

Procedimento 1 - P-EN0001 R.0 Ensaio acústico veicular	59
--	----

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Amplitude
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
CONAMA	Bitola [m]
cm	Centimetro
dB	Decibel
f	Frequência [Hz]
T	Período
Hz	HertzBitola traseira com largura do pneu [m]
SI	Sistema Internacional de Unidades
m	Metros
μ s	Microssegundos
ms	Milissegundos
mm	Milímetros
NVH	Noise Vibration Harshness
s	Segundos
λ	Comprimento de onda
Pa	Paskal
σ	Resistencia de Fluxo
ϕ	Porosidade
α	Coeficiente de absorção Sonora
Va	Volume de Ar
Vm	Volume toal do material
W/m ²	Watts por metro quadrado
Z	Impedancia Classica
F	Força
v	Velocidade adquirida
NPS	Nivel de pressão Sonora

SUMÁRIO

Sumário	15
1.INTRODUÇÃO	16
1.1. <i>MOTIVAÇÃO</i>	16
1.2. <i>MOTIVAÇÃO</i>	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. <i>FUNDAMENTOS DA ACÚSTICA</i>	18
2.2. <i>ESCALA DECIBEL</i>	20
2.3. <i>SENSAÇÃO DE INTENSIDADE DOS SONS</i>	20
2.4. <i>CONFORTO ACÚSTICO</i>	21
2.5. <i>RUÍDO VEICULAR</i>	23
2.6. <i>RUÍDO DE PROPULSÃO</i>	24
2.7. <i>RUÍDO DOS PNEUS E SUSPENSÃO</i>	25
2.8. <i>TRAJETÓRIAS DE TRANSFERÊNCIA VIBROACÚSTICAS</i>	26
2.9. <i>ABSORÇÃO SONORA</i>	27
2.10. <i>DIFRAÇÃO</i>	30
2.11. <i>SENSIBILIDADE DO OUVIDO HUMANO</i>	31
2.12. <i>FENÔMENOS SONOROS DA REFLEXÃO</i>	31
2.13. <i>REFRAÇÃO</i>	32
2.14. <i>EFEITO DOPPLER</i>	33
3. DIRETRIZES DO PROJETO	34
3.1. <i>PROBLEMA</i>	34
3.2. <i>PROPOSITO</i>	34
3.3. <i>BENCHMARKING</i>	34
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	35
4.1. <i>VEÍCULO UTILIZADO</i>	35
4.2. <i>CIRCUNSTÂNCIAS DE MEDIÇÃO</i>	36
4.3. <i>CONDIÇÕES DE ENSAIO</i>	37
4.4. <i>CÁLCULO DA POTÊNCIA MÉDIA</i>	37
4.5. <i>FLUXOGRAMA DO PROJETO</i>	38
4.6. <i>DESENVOLVIMENTO DOS TESTES</i>	39
4.7 <i>MATERIAL UTILIZADO</i>	40

5 APRESENTAÇÃO DE DADOS DOS ENSAIOS	41
5.1. <i>VEÍCULO EM CONDIÇÃO ORIGINAL</i>	41
5.2. <i>VEÍCULO SEM ISOLAMENTO ACÚSTICO</i>	42
5.3. <i>VEÍCULO COM ISOLAMENTO ACÚSTICO ADICIONAL</i>	42
5.4. <i>CÁLCULOS</i>	43
5.5. <i>GRÁFICOS</i>	46
6 RESULTADOS	54
7 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	56
Informações adicionais	58
A.1. <i>FICHA DE MEDIÇÃO</i>	58
A.2. <i>PROCEDIMENTO</i>	59

1. INTRODUÇÃO

Segundo Marcelino (2024), o som é um fenômeno físico ondulatório periódico, resultante da variação de pressão num meio elástico que ocorre de forma regular. Definido por altura, intensidade e timbre. Em um automóvel, movido por um motor de combustão interna, as ondas geradas são oriundas do funcionamento das válvulas de escape, que se abrem abruptamente, deixando que os gases de escape em alta pressão passe pelo sistema de exaustão.

Já o ruído “é uma mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa, e que diferem entre si por valores imperceptíveis ao ouvido humano.” Norma Brasileira 12179 de 1992 (NBR12179/92). Deste modo, o ruído é qualquer tipo de som desagradável. Essa afirmação é subjetiva, pois o que pode desagradar um indivíduo pode não desagradar outro, deste modo se tornando uma característica empírica para cada pessoa.

O ruído excessivo pode gerar danos à saúde física e mental, portanto, sua atenuação deve ser de grande eficiência Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2000). Além de auxiliar na redução da poluição sonora, o isolamento acústico nos veículos também é um fator decisivo para o ganho de mercado tendo em vista, máquinas e equipamentos com menor ruído são relacionados à boa qualidade. Desta maneira, o controle de ruído tem se tornado um fator cada vez mais relevante entre os fabricantes de automóveis.

De acordo com Heywood (2018), as principais fontes geradoras de ruído em automóveis são: a exaustão, a aspiração, a vibração e o impacto de componentes. Todos os componentes ou sistemas tem como principal fonte sonora o funcionamento dos motores de combustão interna, nos quais processo de admissão e exaustão dos gases em cada cilindro do motor geram ondas de pressão audíveis, criando assim, as duas principais fontes de ruído de um veículo.

Portanto, o ruído interno do veículo, sentido pelos ocupantes, depende do tipo de mecânica do veículo, velocidade do veículo, tipos de pneus utilizados e do revestimento do pavimento.

1.1. *Motivação*

O conforto acústico tornou-se um dos elementos essenciais e decisivos no setor automotivo. Os fabricantes e os consumidores levam em consideração esse critério para tomar algumas decisões. Os clientes o encaram como critério decisivo de escolha no momento da compra do veículo. Tais fatos estão ligados pois existe uma relação direta entre o som que o veículo emite e a imagem de qualidade que o usuário cria a partir da percepção dos sons. O ruído gerado pelo motor do veículo, pelos pneus em contato com o pavimento, pela vibração

dos componentes internos e o ruído gerado pelo ruído aerodinâmico que é gerado pela geometria da carroceria do veículo, são exemplos de sons perceptíveis no primeiro contato do cliente com o veículo, ainda na concessionária e no momento do teste drive do veículo.

1.2. *Motivação*

Este trabalho tem como objetivo, analisar o comportamento do isolamento acústico de um veículo de produção em massa, por meio da utilização de matérias isolantes existentes no mercado, diferente dos materiais convencionais aplicados no veículo testado.

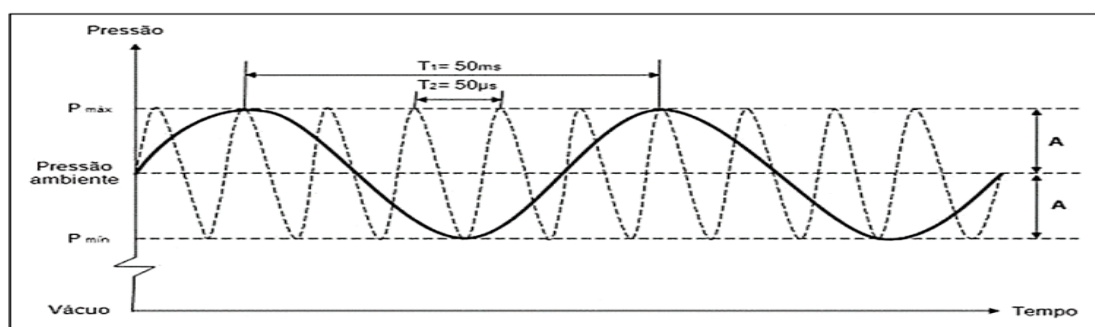
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta etapa serão abordados os principais conceitos sobre o tema, com o objetivo de apresentar um panorama geral do que se conhece sobre o assunto.

2.1. Fundamentos da Acústica

De acordo com Kinsler et al. (2000), acústica é a ciência que estuda a geração, propagação e a recepção de energia em forma de ondas vibratórias. Bistafa (2011) afirma que o termo som possui amplo significado, não se referindo-se somente ao fenômeno da audição, mas também por efeitos em frequências muito baixas, denominadas infrassons, e em frequências elevadas, denominadas ultrassons, que não podem ser inaudíveis para o ser humano. O som é a variação da pressão ambiente que se propaga pelo ar com início de uma fonte geradora de vibração, até atingir o ouvido humano. Para que ocorra a propagação, é necessário que aconteçam compressões e rarefações em propagação do meio. Estas ondas se propagam de forma longitudinal. Quando passa, a onda sonora não arrasta as partículas do meio, apenas faz com que estas vibrem em torno de sua posição de equilíbrio, chocando-se umas com as outras e se propagando. A amplitude (A) da onda sonora é definida pela diferença da pressão ambiente em relação à pressão máxima ou pela diferença da pressão ambiente em relação à pressão mínima. Sendo assim a diferença entre a pressão máxima e pressão mínima é duas vezes o valor da amplitude definida. O período (T) é o intervalo de tempo necessário para que haja um ciclo completo em torno da pressão ambiente, conforme ilustrado na Fig. 1 - Variações de pressão ambiente em função do tempo para sons.

Figura 1 - Variações de pressão ambiente em função do tempo para sons



Fonte: Bistafa (2011)

O ouvido humano tem a capacidade de perceber variações de pressão a partir de 0,00002 Pascal, até 200 Pascal, intensidade onde a vibração sonora pode ser sentida e gerar dor, denominados, limiar da audição ou da audibilidade e limiar da dor.

No nível do mar, a pressão atmosférica é de 1 atmosfera (atm) que corresponde a 101325 Pascal. O sistema auditivo detecta um som quando a variação de pressão for cíclica com um determinado período e a amplitude alcançar um valor acima ou igual do limiar da audibilidade. A variação da pressão ambiente é chamada de pressão sonora. Define-se período como o intervalo de tempo para ocorrência de um ciclo completo na curva de variação da pressão ambiente com o tempo. O oposto do período é a frequência, que é mensurada de ciclos por segundo ou Hertz (Hz) pelo Sistema Internacional de Unidades (SI) e designa o número de períodos presentes em um segundo. A relação entre período e frequência é dada pela Eq. (1).

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Nesta equação f é a frequência em Hz e T o período em segundos.

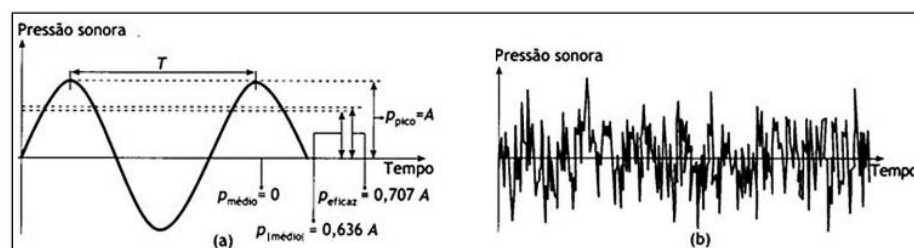
A faixa de frequências audíveis pelos seres humanos é chamada de faixa de áudio e varia de 20 Hz a 20000 Hz. Sons com frequências inferiores a 20 Hz são chamados de infrassons e superior de 20000 Hz são denominadas de ultrassons. Na Fig. 2 - Formas de ondas sonoras. (a) Tom puro, (b) ruído, as 37 variações de pressão ambiente para períodos de $T_1 = 50$ ms (milissegundos) e $T_2 = 50$ μ s (microsegundos) condiz, com as frequências de 20 Hz e 20000 Hz. Já velocidade que a onda sonora se espalha é nomeada de som e é descrita em metros por segundo. A velocidade do som no ar é aproximadamente 340 m/s. O comprimento de onda é a distância que a onda sonora percorra um ciclo completo, apresentada em metros. A relação entre velocidade do som no meio e frequência que define o comprimento de onda, e é dada pela expressão da Eq. (2).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

Nesta equação λ representa o comprimento de onda, c a velocidade do som e f a frequência da onda sonora.

A aparência da onda é o comportamento temporal de uma onda de pressão sonora durante um intervalo de tempo.

Figura 2 - Formas de ondas sonoras. (a) Tom puro, (b) ruído.



Fonte: Bistafa (2011)

A partir da forma de onda pode-se retirar os valores chamados de números únicos que retrata o comportamento temporal da pressão sonora em instantes distintos.

2.2. Escala Decibel

De acordo com Bistafa (2011), a escala de audição do ouvido humano se estende a uma faixa de 10 milhões de Pascal, foi adotada uma escala logarítmica decibel (dB) de modo a representar esta grandeza de modo mais efetivo, além disso, representa também a percepção de alterações de pressão sonora pelo ouvido humano, uma vez que o valor de 1 dB é a mínima variação da potência sonora detectável pelo sistema auditivo humano. Um decibel equivale a um décimo do Bel, que é adquirido através da escala de logaritmo na base 10 conforme a Eq. 3 - Escala Decibel. O nome designado à está escala é uma homenagem ao cientista Alexander Graham Bell.

$$Bel = 10 \log \left(\frac{P}{P_0^2} \right) \quad (3)$$

Nesta equação P é a potência do sistema e P₀ uma potência arbitrária de referência.

Já que a pressão sonora é o estímulo físico que melhor se correlaciona com a percepção de som, e utilizando a escala decibel, pode ser definido o nível de pressão sonora pela Eq. 4 - Nível de pressão sonora.

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P_{eficaz}^2}{P_0^2} \right) \quad (4)$$

Onde L_p é o nível de pressão sonora em decibéis, eficaz é o valor eficaz da pressão sonora e p₀ a pressão sonora de referência que geralmente é tomada como o limiar da audição de 2 x 10⁻⁵ Pa.

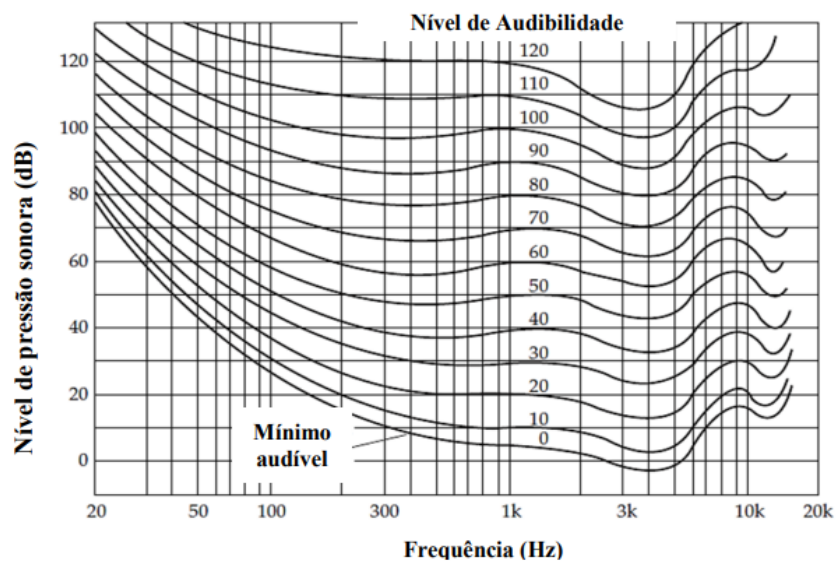
O nível de pressão sonora é a medida física para descrever a sensação subjetiva da intensidade dos sons, é calculado com o valor eficaz da pressão sonora.

2.3. Sensação de intensidade dos sons

De acordo com Gerges (2000), o ouvido humano não tem a mesma sensibilidade em toda a faixa de frequência. A faixa de 2000 a 5000 Hz é onde possuímos a maior sensibilidade, ou seja, o sistema auditivo humano detecta sons com menores níveis sonoros nessa faixa de frequência. Porém em frequência baixas e em frequências extremamente altas, a sensibilidade do ouvido humano é bastante reduzida. Na frequência de 1000 Hz o sistema auditivo detecta sons exatamente em seu nível sonoro.

Segundo Bistafa (2011), a percepção subjetiva da intensidade do som depende da frequência e pode ser mensurada utilizando a grandeza denominada de nível de audibilidade, que é função do nível sonoro e da frequência do som e possui a unidade fones. Na Fig. 3 - Curvas de mesmo nível de audibilidade para tons puros observa-se o gráfico do nível de audibilidade, composto por curvas isofônicas, com valores de fones por frequências, para tons puros. Cada curva isofônica tem a mesma percepção de intensidade de sons em toda a faixa de frequência.

Figura 3 - Curvas de mesmo nível de audibilidade para tons puros.



Fonte: Bistafa (2011)

2.4. Conforto Acústico

O conforto acústico é considerado um parâmetro relevante para determinar a qualidade de um produto, sendo levado em consideração como um fator decisivo na compra de um produto. O ruído, pode ser definido como um som indesejável, quando é gerado por algum componente, comumente acaba deixando a impressão de que o produto possui baixa qualidade. Porém, trata-se de algo que engloba diversos parâmetros subjetivos.

Segundo Schmid (2005), não é somente o sistema fisiológico que determina o conforto, mas também a expressividade que compreende as perspectivas subjetivas. Na composição global do conforto, o conforto acústico é um aspecto físico de grande complexidade, devido à distribuição dos sons em um ambiente e à baixa acuidade do sistema auditivo tendo em comparação à visão. Porém, a audição é um importante complemento da visão para percepção de algumas situações que acontecem fora do campo de visão. O conforto acústico está

relacionado à comodidade e à adequação. A comodidade acústica está associada à conveniência de se ouvir, ou desejo ou a necessidade. O silêncio absoluto ou um som contínuo está ligado à comodidade, mas um ruído severo nestas situações é bastante incômodo. A adequação necessita que o ambiente sonoro seja coerente com o que está sendo desenvolvido, portanto, a expectativa tem grande influência na percepção de conforto acústico.

Em um veículo, a percepção de conforto acústico está relacionada às características dos sons gerados e à percepção dos ocupantes. Esta percepção está relacionada ao interesse individual, ao conhecimento técnico, à atenção, dentre outros. De acordo com Brizon (2012), a percepção do ambiente se dá através dos sentidos e a interpretação através da consciência e do pensamento, levando o indivíduo a obter uma decisão e reação de conforto ou desconforto. E relacionado ao conforto veicular, é difícil definir qual a parte à percepção acústica o indivíduo irá considerar para estruturar a sua opinião e classificar o produto. Variáveis dinâmicas influenciam na percepção do conforto acústico, como por exemplo as acelerações, redução de velocidade, trepidação e trancos, além de fatores como ergonomia, acessibilidade e temperatura. Deste modo, a percepção de conforto acústico em um veículo, não é apenas do sentido da audição, mas, a correlação de múltiplas percepções dos ocupantes.

De acordo com Genuit (2004), a tecnologia binaural é utilizada para resolver problemas relacionados à qualidade do som em um veículo. A captação de dados acústicos utilizando um equipamento chamado de cabeça artificial, que consiste em um manequim de dorso humano com microfones posicionados nos ouvidos, reproduz fielmente o som, em comparação a audição humana, podendo ser reproduzido para posteriormente para avaliação e comparação entre várias situações, realizando teste de júri, além da possibilidade de construção de gráficos de métricas de psicoacústica.

Conforme Nor et al (2008), a qualidade sonora é um fator bastante importante utilizado para avaliar o desempenho de veículos. Sua função é correlacionar a medida objetiva com a sensação subjetiva. É necessário a realizar testes objetivos e subjetivos com o objetivo de definir parâmetros e métricas mais adequadas para cada tipo de situação do veículo, como por exemplo em diversos tipos de pavimentos de estradas, condições como aceleração e marcha lenta, entre outras.

Alguns ruídos são causados por fenômenos específicos que causam grande desconforto e prejudicam a qualidade sonora de um automóvel, como os ruídos do tipo *booming noise* e do tipo *buffeting air*.

Shin et al (2009) expõem que o ruído do tipo *booming noise* é causado devido à ressonância da cavidade interna do veículo. Há várias origens para este fenômeno em um

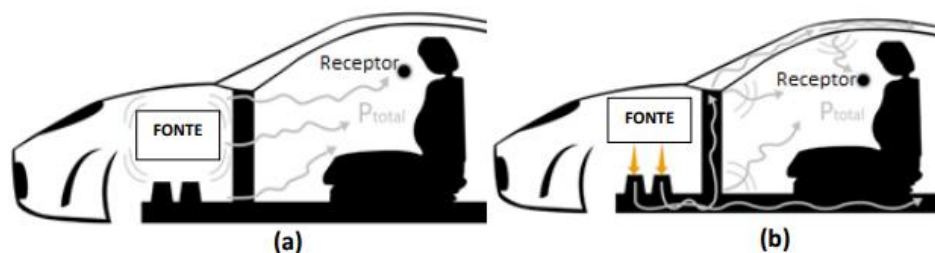
veículo, como a excitação do conjunto motopropulsor, agitação do sistema de escapamento, do sistema de aspiração, dentre outros. O *booming noise* causa sensação de aumento de pressão quando acoplado com a faixa de frequência de ressonância da cavidade do habitáculo do veículo.

Segundo Lemaitre et al (2015), o ruído do tipo *buffeting air* é referente com o ruído aerodinâmico que ocorre quando o veículo está em velocidades elevadas, como as permitidas em estradas, e uma das janelas permanece aberta. Este tipo ruído causa desconforto elevado pois ocorre flutuações de pressão no habitáculo do veículo.

2.5. Ruído Veicular

O termo *Noise Vibration Harshness* (NVH) é usado de modo a englobar fenômenos que determinam o conforto vibro acústico de veículos, que significa ruído, vibração e aspereza. O automóvel é um sistema muito complexo que se trata de fontes geradoras de ruídos, vibrações e aspereza. O ruído que chega aos ocupantes no interior de um veículo é o resultado de várias fontes geradoras funcionando simultaneamente. O ruído é transmitido ao habitáculo do veículo por vias aérea e estrutural. O ruído transmitido por via aérea é predominantemente de médias e altas frequências. Já o ruído transmitido por via estrutural, frequências baixas e médias. A Fig. 4 - Formas de transmissão do ruído ao habitáculo, ilustra os dois tipos de transmissão do ruído ao habitáculo.

Figura 4 - Formas de transmissão do ruído ao habitáculo



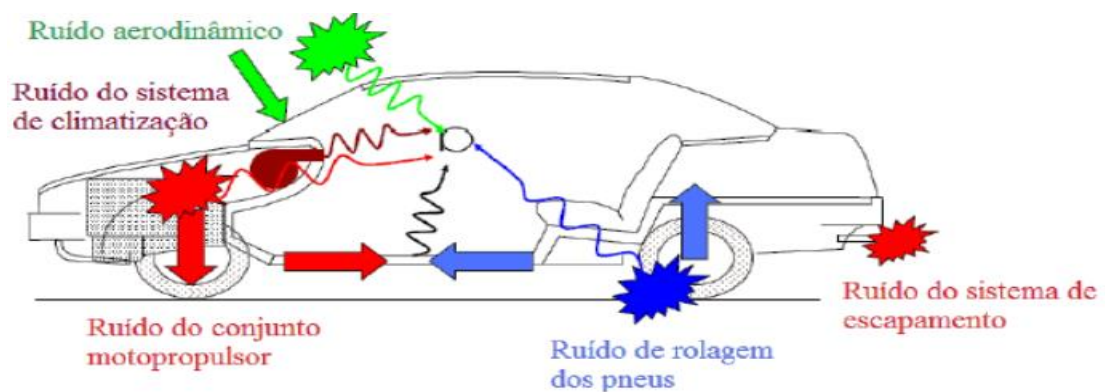
Fonte: Costa (2018)

Segundo Vigè (2010) no automóvel existe duas diferentes categorias de vias de transmissão relacionadas a mecanismos de transmissão bastante diferentes. Em um automóvel a experiência mostra que o ruído oriundo da estrutura predomina em baixas frequências, abaixo de 200 Hz, enquanto o ruído oriundo por via aérea predomina acima de 500 Hz. Na faixa de

frequências intermediárias, ambos os caminhos de transmissão têm normalmente níveis de importância combinados.

As principais fontes de ruído de um automóvel são: motopropulsor, sistema de escapamento, sistema de aspiração, pneus, suspensão, sistema de refrigeração, ruído aerodinâmico, ruído de acabamentos e ruído de acessórios do motor. A Fig. 5 - Fontes de ruído veicular e vias de transmissão para o interior do habitáculo, representa de forma esquemática a localização das principais fontes em um automóvel.

Figura 5 - Fontes de ruído veicular e vias de transmissão para o interior do habitáculo.



Fonte: Machado (2016)

2.6. Ruído de Propulsão

O ruído de propulsão é considerado o ruído gerado pelo motor e câmbio, que geram ruídos nas condições do veículo em funcionamento. Estas fontes se propagam pelo ar através das superfícies e gera vibrações que são transmitidas pela estrutura. Parte dessa transmissão pode se comportar como elemento irradiante para o interior do veículo, que é o caso de chapas mais planas como a parede corta fogo, assoalho e teto. De acordo com Gerges (2005), as fontes de propulsão são as principais fontes de ruído em veículos, principalmente em velocidades mais baixas.

De acordo com Costa (2003), o ruído do motor pode ser dividido em ruído de combustão e ruído devido às forças mecânicas. O ruído devido à combustão é gerado através das variações periódicas de pressão em cada um dos cilindros. Geralmente, o ruído de motores Diesel é maior em comparação aos motores bicomustíveis a gasolina e etanol. Nos motores movidos a bicomustível, quando funcionando com etanol é mais ruidoso que abastecido com gasolina. O ruído devido às forças mecânicas é gerado a partir de pistões, válvulas, correias, mancais do

eixo virabrequim e por acessórios como o alternador e bombas. O ruído de escapamento é causado pelas flutuações de pressão no sistema causadas pelas válvulas de escape.

O ruído gerado no sistema de aspiração é gerado em decorrência das oscilações dá nos dutos que são originadas da ação das válvulas de aspiração. Podem ser consideradas ainda como fontes que contribuem para a radiação de ondas sonoras das superfícies do filtro de ar e dutos do sistema o ruído e vibrações transmitidos por via estrutural, através dos pontos de fixação do sistema ao veículo. A Fig. 6 – *powertrain* de um veículo, ilustra o sistema completo do grupo motopropulsor.

Figura 6 – *Powertrain* de um Veículo



Fonte: Site oficial Siemens PLM

2.7. Ruído dos pneus e suspensão

Segundo Gerges (2005) o ruído de pneus e suspensão, é denominado como de rodagem ou de rolagem, é considerado o maior ruído externo ao veículo para velocidades acima de 60 km/h. Conforme Costa (2003), além das funções básicas de tração, movimentação e direcionamento do veículo, os pneus podem ser amplificar ruídos e vibrações para o interior do veículo. Um projeto do conjunto pneus e suspensão não implica somente em boa resistência, durabilidade e estabilidade do veículo, mas também no conforto.

Vários fenômenos contribuem ao mesmo tempo para geração do ruído de pneus e suspensão. A principal origem do ruído de pneus é o constante golpear da superfície deste com a rugosidade do solo. As pequenas rugosidades do piso agem como obstáculos à rolagem do pneumático que se choca com estas, vindo a vibrar. Como estes choques ocorrem a curtíssimos intervalos de tempo, visto que as imperfeições do piso ocorrem a distâncias mínimas, a frequência do ruído resultante é da ordem de 500 a 1000 Hz, dependendo da velocidade do

veículo. Quanto maior a velocidade, maior a frequência. A Fig. 7 - Classificação de ruído de um pneu, mostra a especificação de ruído emitido pelo pneu.

Figura 7 – Classificação de ruído de um pneu.



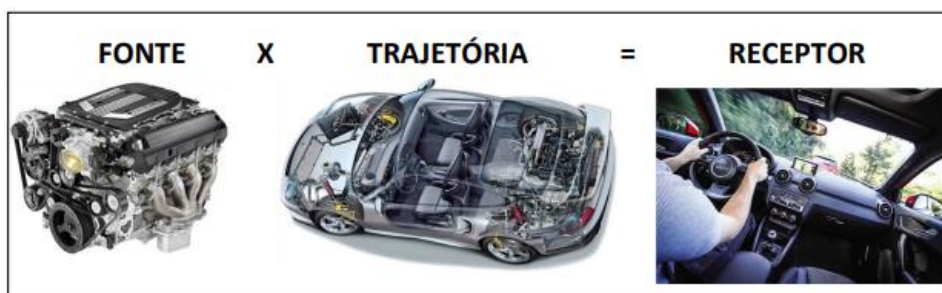
Fonte: ANIP

2.8. Trajetórias de transferência vibroacústicas

A transferência de ruído e vibração representam trajetórias pelos quais a energia vibro acústica é transmitida desde as fontes geradoras até atingir os ocupantes do veículo, seja pela percepção da vibração, seja pela percepção sonora.

Segundo Goetchius (2010), para uma discussão completa sobre ruído e vibração é necessária a introdução do conceito de fonte-caminho-receptor, onde cada fenômeno é dividido em sistemas que definem a fonte geradora, o trajeto de transmissão e o ponto de recepção. Os fenômenos notados pelos ocupantes de um veículo, são resultantes de excitações das fontes geradoras, atuando simultaneamente, através de diversos caminhos os quais são transmitidos até o receptor. A relação entre as fontes de ruído e vibração e suas trajetórias até encontrar o receptor está representada, de forma simplificada, na Fig. 8 - Esquema do processo de percepção do ruído em veículos.

Figura 8 - Esquema do processo de percepção do ruído em veículos.



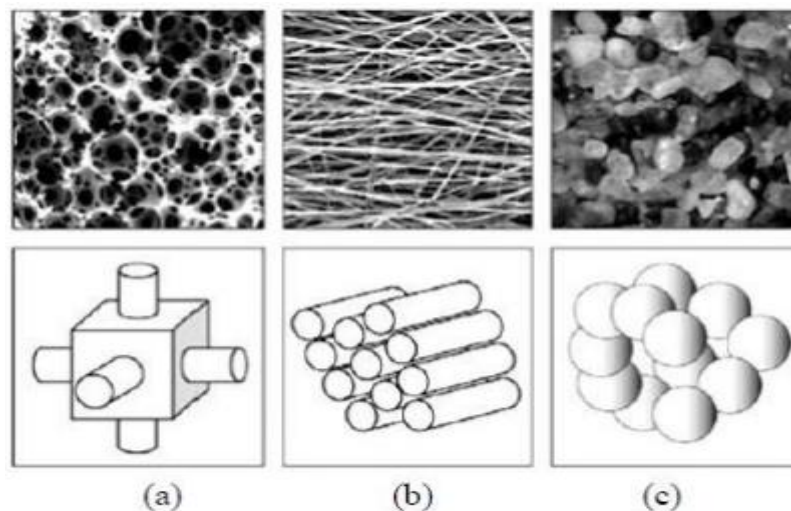
Fonte: Costa (2018)

2.9. Absorção Sonora

Segundo Vigè (2010), a absorção sonora é utilizada para reduzir o ruído em veículos e são aplicados no interior do habitáculo, no vão motor, e até mesmo no exterior de veículos. A absorção sonora se dá a partir de três fenômenos. O primeiro mecanismo é a perda de energia sonora através do atrito, no qual as partículas de ar encontram um material que absorve e são submetidas a fenômenos de fricção através da interação com os poros ou fibras deste material. O segundo mecanismo está relacionado com a troca de calor; a onda sonora propagada no ar troca de calor com o material absorvente causando a perda de energia sonora, desde que o material possua relação superfície e volume, mas este fenômeno acontece em ondas de baixas frequências onde há mais tempo durante um ciclo de troca de calor. O terceiro mecanismo está relacionado às perdas internas dos materiais acústicos sujeito às oscilações mecânicas forçadas causadas pela pressão acústica.

De acordo com Bistafa (2011), os materiais para absorção sonora são, normalmente, porosos ou fibrosos. Para que o material tenha eficiência, é fundamental que se permita o fluxo de ar no meio absorvente. Os materiais absorventes são leves e não possuem características estruturais.

Conforme Mareze (2013), os materiais porosos utilizados como absorvedores sonoros podem ser do tipo celular, fibroso ou granular, conforme ilustrado na Fig. 9 - Tipos de estrutura de materiais porosos.



Fonte: Mareze (2013)

De acordo com Mareze (2013), as características acústicas são dadas pela composição, orientação e dimensão das fibras, bem como pela densidade e pela forma como as fibras são interconectadas. Segundo Bistafa (2011), um bom material absorvente de som permite que as partículas do ar penetrem e se movimentem em seu interior. Assim, uma propriedade fundamental dos materiais absorventes é a resistência ao fluxo de ar. A maximização da absorção sonora requer uma otimização da resistência ao fluxo. Conforme Vigè (2010), a resistência ao fluxo (σ) de uma amostra de material pode ser determinada pela Eq. 5 – Resistência de Fluxo.

$$\sigma = \frac{\Delta p}{u d} \quad (5)$$

Onde Δp é a diferença de pressão sonora entre os dois lados da amostra, u é a velocidade média das partículas de ar através da amostra e d é a espessura da amostra.

Outra característica importante de materiais absorventes de som segundo Vigè (2010) é a porosidade, que relaciona com os caminhos tortuosos que o ar percorre dentro do material. Um maior valor de porosidade de um material determina um melhor comportamento de absorção sonora. A porosidade (ϕ) pode ser determinada através da Eq. 6 - Porosidade.

$$\phi = \frac{V_a}{V_m} \quad (6)$$

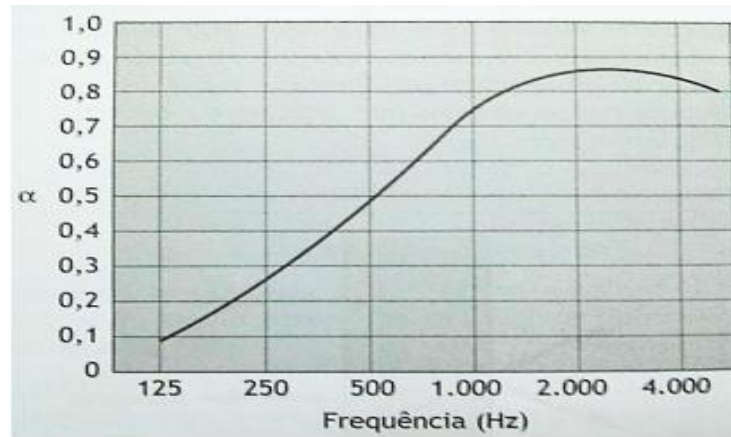
Onde V_a é o volume de ar no material e V_m é o volume total do material, incluindo o ar dentro dele.

A principal característica de um material absorvente de som é o coeficiente de absorção sonora. Conforme Bistafa (2011), a maneira de se caracterizar os materiais de absorção sonora é através da determinação do coeficiente de absorção sonora (α), definido pela razão entre a energia acústica absorvida pela energia acústica incidente. Em todas as reflexões de ondas acústicas em uma superfície, a energia é parcialmente refletida e parcialmente absorvida pelo material, e o coeficiente de absorção representa a capacidade do material para absorver a energia acústica. O valor do coeficiente de absorção é em função da frequência e varia entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1 o valor do coeficiente de absorção, mais energia foi absorvida. O coeficiente de absorção depende das propriedades do material e de suas dimensões. A Fig. 10 demonstra uma curva típica de coeficiente de absorção sonora (α) em função da frequência, de materiais absorventes de som porosos e fibrosos instalados sobre superfície sólida.

Conforme representado no gráfico da Fig. 10 - Gráfico típico de absorção sonora para materiais absorvente, um material poroso ou fibroso é mais efetivo a partir da faixa de

frequência de 1000 Hz, quanto à absorção do som. Devido a este tipo de comportamento, sua aplicação para o tratamento de ruído aéreo.

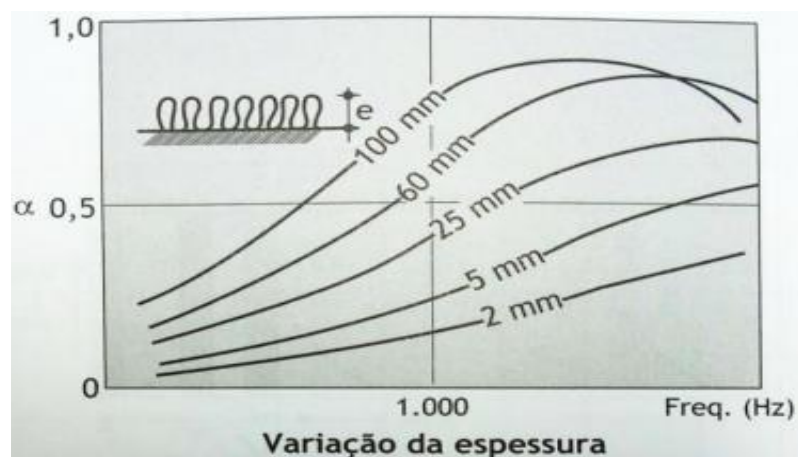
Figura 10 - Gráfico típico de absorção sonora para materiais absorventes.



Fonte: Bistafa (2011).

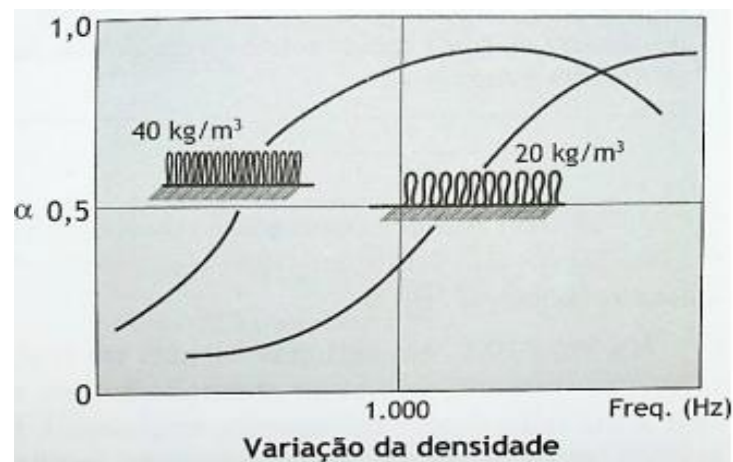
De acordo com Bistafa (2011), a variação de espessura e da densidade de um material absorvente de som altera sensivelmente o coeficiente de absorção sonora (α). Os gráficos das Fig. 11 e Fig. 12, demonstram os efeitos da variação da espessura e da densidade do material no coeficiente de absorção sonora (α).

Figura 11 - Influência da variação da espessura de materiais porosos/ fibrosos.



Fonte: Bistafa (2011).

Figura 12 - Influência da variação da densidade de materiais porosos/ fibrosos.



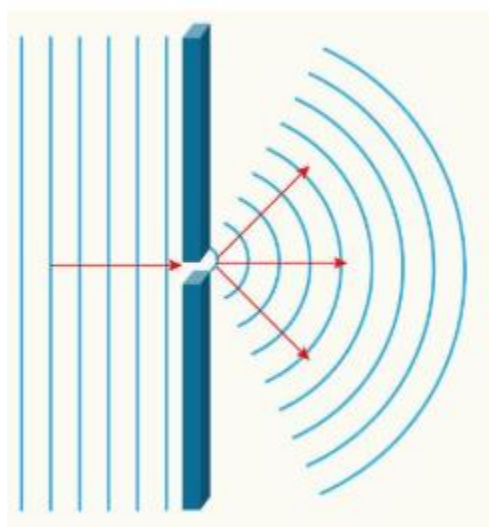
Bistafa (2011).

2.10. Difração

Difração é um fenômeno que desafia a ideia de que as ondas se propagam em linha reta. Em vez disso, as ondas podem contornar obstáculos e alcançar áreas onde normalmente não seriam esperadas, caso sua propagação fosse estritamente linear em meios homogêneos. Isso é ilustrado pela sombra geométrica projetada por um obstáculo. A difração é fundamentalmente um fenômeno ondulatório, explicado pelo princípio de Huyghens, que postula que pontos em uma abertura ou em sua borda se tornam fontes secundárias de ondas, irradiando em todas as direções.

A capacidade de ouvir alguém falando em um local diferente é um exemplo de difração. A intensidade da difração varia de acordo com o comprimento de onda (λ); se λ for muito menor que a dimensão da abertura ou do obstáculo, a onda dificilmente o contornará, enquanto se λ for comparável à dimensão do obstáculo, a difração será mais acentuada. O Princípio de Huyghens afirma que cada ponto em uma frente de onda se comporta como uma fonte de um novo movimento ondulatório, mantendo o período do movimento original, conforme ilustrado na fig. 13.

Figura 13 - Difração



G. Rodrigues

2.11. *Sensibilidade do ouvido Humano*

Existe um valor mínimo de intensidade sonora capaz de ser sentido pelo aparelho auditivo humano. A variação desse valor depende da frequência do som e há diferenças de pessoa para pessoa. Para uma frequência de 1.000 hertz, a intensidade corresponde a uma amplitude de vibração muito pequena de 10^{-9} cm (menor que o raio de um átomo). Por outro lado, intensidades sonoras com valor acima de 1 W/m^2 podem gerar dores e danos ao ouvido, chegando a uma amplitude de vibração de 0,01 mm.

2.12. *Fenômenos Sonoros da Reflexão*

A reflexão é um fenômeno que ocorre quando uma onda incide sobre um obstáculo e retorna à fonte original ao encontrar outra onda. Este evento pode gerar dois fenômenos: eco e reverberação. Ao emitir um som, ele pode refletir em um objeto e retornar aos nossos ouvidos.

Segundo Marcelino (2024), o eco é o som refletido que ocorre após a extinção total do som original, ou seja, após 30 ms, que são percebidos pelo ouvido.

A reverberação ou reforço é o som refletido que chega antes dos 30 ms, geralmente provocando um reforço no som emitido.

Importante ressaltar que para diferentes condições do ar (temperatura, pressão, densidade, umidade, etc.) faz com que o valor da velocidade de propagação do som mude com o valor da distância.

2.13. Refração

Quando uma onda encontra uma barreira, ela é parcialmente refletida e absorvida. Uma estrutura lisa reflete mais a onda, enquanto materiais mais porosos, fibrosos e granulares absorvem grande parte dessa energia sonora, transformando em energia mecânica e posteriormente em energia térmica. Ressaltamos que quando uma onda incide em uma superfície, ocorre o fenômeno de reflexão e parte da onda é absorvida e refletida também. Ao notarmos que o som não é facilmente absorvido em diferentes materiais ou estruturas, sofrendo mais reflexão que absorção, este efeito é chamado de impedância.

A impedância é uma propriedade de resistir ou se opor ao movimento de um corpo devido sua resistência ao movimento do corpo. No cálculo de impedância, devemos levar em conta o corpo em si, pois ela interagirá de formas diferentes com o meio (impedância). Na mecânica clássica a impedância pode ser expressa pela Eq. 7.

$$Z = \frac{F}{v} \quad (7)$$

Sendo F a força aplicada ao corpo e v a velocidade adquirida por este corpo. Ao observarmos essa equação, quanto maior a velocidade adquirida por um corpo, para uma determinada força, menor sua impedância. De maneira mais apropriada para a acústica, a impedância característica é definida pela Eq. 8.

$$Z = \frac{P}{v} \quad (8)$$

Onde p é a densidade do meio e v é a velocidade do som neste meio. Sendo está a equação mais prática para se definir a impedância da física acústica.

A importância da impedância, se dá pela diferença de velocidade do som quando aplicados diferentes materiais entre dois meios. Isto se deve, pois toda vez que uma onda incidir no meio 1 e um meio 2, haverá uma impedância entre os dois. Um grande exemplo de impedância, ocorre em nosso ouvido humano. Uma fonte sonora vinda do ar precisa entrar na orelha interna (cóclea) que possui um fluido, a onda precisa ser transmitida de um meio (ar) para outro (líquido) que possui uma impedância diferente. A orelha média contém três ossículos, funcionando como um dispositivo chamado de casamento de impedância,

combinando diferentes impedâncias. Se não fosse a orelha média, a reflexão seria muito alta e não ouviríamos quase nada.

2.14. Efeito Doppler

O Efeito Doppler é uma modificação no som percebido devido ao movimento da fonte sonora em relação ao observador. Quando uma ambulância se aproxima, as frentes de onda sonora se comprimem à frente dela e se espaçam atrás, resultando em uma maior frequência percebida (som mais agudo) para um observador à frente da ambulância e uma menor frequência (som mais grave) para um observador atrás. Este fenômeno é observado quando a fonte sonora está em movimento e o observador está em repouso. O inverso também é verdadeiro quando a fonte sonora está em repouso e o observador está em movimento.

3. DIRETRIZES DO PROJETO

Nesta seção serão abordados um conjunto de orientações e informações que fornecem a base para a elaboração e execução do projeto de melhoria acústica em um automóvel.

3.1. *Problema*

Tendo em vista as observações e pesquisas feitas, ficou evidente que os ocupantes do veículo ao ficarem expostos à determinadas frequências podem gerar: Estresse, fadiga, problemas de audição, desconforto psicológico, impacto na comunicação, distração do motorista e problemas de saúde mental.

Conforme mencionado, dentro desses problemas destacam-se os problemas de audição e a distração do motorista, por conta de poder gerar para os ocupantes do veículo danos permanentes aos usuários.

3.2. *Proposito*

O projeto possui tem como finalidade utilizar um veículo de produção em massa e realizar uma melhoria acústica, tornando o veículo mais agradável acusticamente para o condutor do veículo e os seus ocupantes utilizando materiais isolantes já existentes no mercado.

De modo a mensurar o valor de ruído em diversos pontos do veículo, será realizado testes em diversas condições. Para definir o material mais adequado para ser empregado em cada ponto do veículo (cofre do motor, colunas, portas e assoalho).

3.3. *Benchmarking*

O benchmarking pode ser entendido como uma ferramenta que utiliza que verifica o desempenho de produtos ou processos com o propósito de implementar melhorias ao que já existe. Este projeto possui como objetivo a melhoria acústica para os ocupantes do veículo, e com o auxílio da ferramenta benchmarking foi possível identificar as possíveis soluções que trariam a redução de ruídos ouvidos pelos integrantes do veículo.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Com a finalidade de examinar estatisticamente os sons internos de um veículo em situações reais, foram conduzidas uma série de medições dos sinais acústicos dentro de um carro em várias circunstâncias. Este capítulo aborda os detalhes das condições de medição, as variáveis manipuladas durante a pesquisa e as técnicas estatísticas empregadas na avaliação dos dados obtidos.

4.1. Veículo Utilizado

Para realizar as medições será utilizado o veículo Volkswagen T-Cross 200 TSI 1.0 Flex, conforme Fig. 14 – Veículo utilizado, o veículo é equipado com um motor Transversal turbo 1.0 com 3 cilindros em linha com injeção direta.

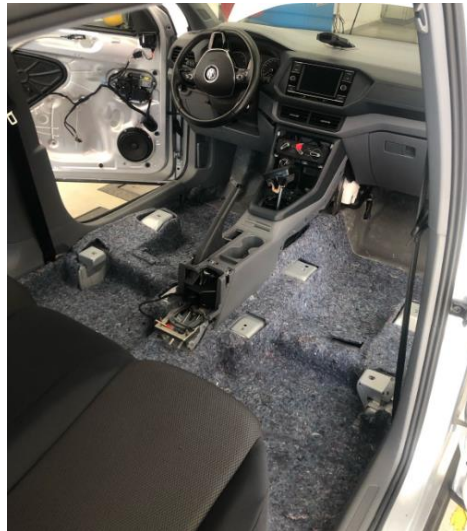
Figura 14 - Veículo utilizado



Fonte: Autores, 2024 (Autorizado pela Fatec Santo André)

No isolamento acústico do veículo é utilizado o seguinte material: Feltro conforme fig. 15.

Figura 15 - Material Acústico



Fonte: Autores, 2024 (Autorizado pela Fatec Santo André)

4.2. Circunstâncias de Medição

Para validação dos ensaios, serão realizados no mínimo quatro testes em cada condição. Todos eles foram realizados após o veículo entrar em condição de *warm up*, onde o veículo já estará em sua condição ideal de trabalho.

Para iniciar o ensaio é necessário preencher o modelo do veículo e a temperatura ambiente. Foi utilizado a tab. 7 – Ficha de medição para preencher os resultados obtidos no teste.

Foi realizado o teste com o veículo em 3 condições diferentes 1ºVeículo em condição original, 2ºVeículo sem isolamento acústico e 3ºVeículo com isolamento adicional. Em cada uma das condições do veículo foram consideradas mais duas condições o ar-condicionado: 1ºDesligado e 2ºAr-condicionado ligado na velocidade 2. Para a aquisição dos dados foram consideradas algumas condições de funcionamento do veículo: 1º Veículo desligado, 2 ° Veículo em marcha lenta, 3 ° Veículo @1500RPM, 4 ° Veículo @2000RPM, 5° ° Veículo @3000 RPM, 6 ° Veículo @4000RPM. Foram captados os valores de NPS e frequência de dentro e de fora do veículo.

4.3. Condições de Ensaio

As condições para realizar os ensaios foram divididas em três etapas. Cada uma delas realizando as medições de ruído interno do veículo, sendo elas:

1° etapa: Será feito o teste no veículo com as características originais de fábrica, onde serão identificados os pontos de vibração e ruído.

2° etapa: o habitáculo será desmontado, tendo seus painéis de portas e assoalho retirados e realizado os testes de vibração e ruído.

3° etapa: Foram aplicados os materiais de atenuação de ruído externo e interno e identificar quais foram as melhorias desde o processo inicial.

O local de medição escolhido foi a instituição de ensino FATEC Santo André, localizada na cidade de Santo André, com o objetivo de realizar os testes em um ambiente controlado. Serão realizados os ensaios com o carro posicionado na rampa, de modo a garantir a mesma posição do veículo em todos os testes.

4.4. Cálculo da Potência Média

A unidade para medir a potência sonora de uma fonte é o Decibel (dB).

Para validar os valores encontrados nos ensaios, utilizaremos a média dos sinais identificados em cada medição. Uma das maneiras de identificar a potência de um sinal, é por meio de um decibelímetro digital. A Fig. 16 – Decibelímetro mostra como é a aparência de um medidor.

Figura 16 - Decibelímetro.



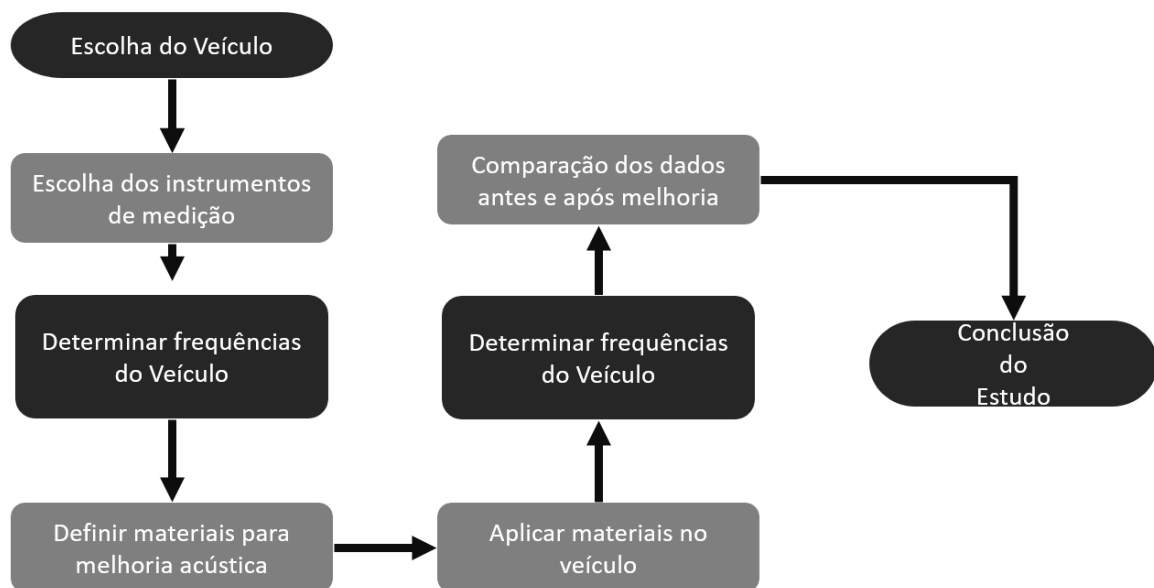
Fonte: Minipa.

Este dispositivo é capaz de monitorar o ruído interno do veículo para identificarmos através dos ensaios, um controle de qualidade acústica, avaliando a exposição ao ruído externo gerado pelo tráfego e o rolamento dos pneus. Com estes valores adquiridos, será possível realizarmos as pesquisas acústicas e implementar as medidas que foram tomadas após os ensaios com o objetivo de atenuar a poluição sonora no habitáculo do veículo.

4.5. Fluxograma do Projeto

Para o início do projeto, foi definido a marca e o modelo do veículo para realizar as medições. Logo após definiremos os instrumentos de medições para a captação dos dados, em seguida será verificadas as faixas de frequências de determinados pontos da carroceria do veículo. Após determinar as frequências do veículo, será escolhido os tipos de materiais para cada parte da carroceria do veículo, levando em consideração os materiais que isolem melhor a faixa de frequência medida na região. Logo após, aplicar os materiais no veículo, será realizado os mesmos ensaios do veículo antes da melhoria para então realizar a comparação dos dados e então concluir se as melhorias empregadas no veículo obtiveram resultados significativos na melhoria acústica dos veículos para os ocupantes. A Fig. 17, ilustra as etapas do projeto a serem realizadas.

Figura 17 - Fluxograma do projeto.



Fonte: Autores

4.6. Desenvolvimento dos Testes

Os testes de campo foram realizados em três cenários distintos para determinar o efeito do isolamento acústico no veículo escolhido. Inicialmente, o veículo em sua condição original foi usado como ponto de referência para estabelecer os níveis de ruído e frequência padrão, conforme representado pela Fig. 18.

Figura 18 - Interior do Veículo Original



Fonte: Autores, 2024 (Autorizado pela Fatec Santo André)

Em seguida, o veículo foi submetido a um processo de desmontagem interna completa, removendo todo o isolamento sonoro existente (Bancos, forros de porta, carpete e feltro), simulando uma situação semelhante à ausência desse isolamento, conforme representado na Fig. 19 - Veículo sem isolamento acústico.

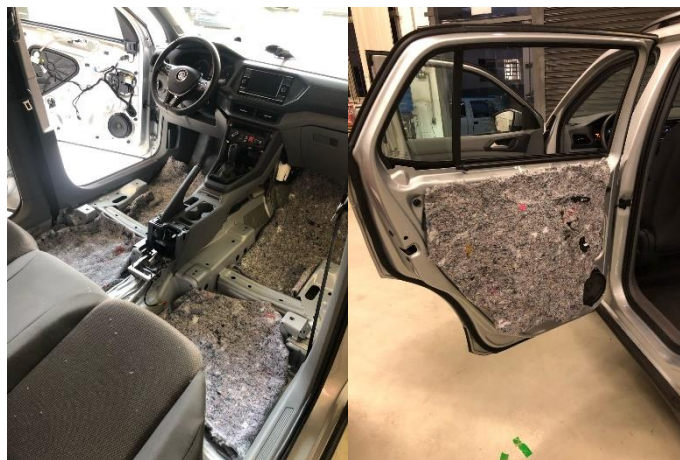
Figura 19 - Veículo sem isolamento acústico



Fonte: Autores, 2024 (Autorizado pela Fatec Santo André)

Posteriormente, o veículo desmontado foi montado novamente, desta vez com a adição de isolamento acústico adicional em áreas específicas (assoalho e portas), visando reduzir os níveis de ruído. A análise comparativa entre os três cenários permitiu identificar os efeitos diretos do isolamento sonoro na mitigação do ruído interno e externo do veículo, fornecendo *insights* valiosos para o desenvolvimento de estratégias de isolamento acústico na indústria automobilística, conforme representado na Fig. 20.

Figura 20 - Veículo com isolamento acústico adicional



Fonte: Autores, 2024 (Autorizado pela Fatec Santo André)

4.7 Material Utilizado

Após a realização dos ensaios de medição nas condições veículo original e veículo sem isolamento acústico, foi avaliado que o melhor material para atenuar os ruídos do veículo é o feltro. De acordo com Marcelino (2024), o material poroso absorve energia sonora quando as ondas passam pelo material transformando-as em energia mecânica e térmica.


5 APRESENTAÇÃO DE DADOS DOS ENSAIOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos dos dados de ruído coletados nas 3 condições do veículo. Na primeira seção de resultados, analisa-se o nível de pressão sonora e a frequência e aborda os resultados dos cálculos de fones, sonos, pressão sonora, intensidade, fator de diretividade, índice de diretividade e comprimento da onda. Na segunda seção de resultados, é realizado uma comparação entre as 3 condições de medição com o veículo.

5.1. Veículo em Condição Original

A tab. 1 apresenta os dados de Frequência e o nível de pressão acústica coletados dentro e fora do veículo original com as seguintes condições: Ar condicionado Ligado na velocidade 2 e desligado e com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM. Foi acrescentado na tabela o valor da média, desvio padrão, maior e o menor valor e a amplitude dos dados.

Tabela 1 - Veículo em condição original


		Ensaio de Ruído				Data:	
						04/05/2024	
Modelo do Veículo:				Temperatura Ambiente: 26,5 C			
Condição do Veículo	Condição de Teste		Dentro do Veículo		Fora do Veículo		
	Ar Condicionado	Veículo	NPS	Frequência	NPS	Frequência	
VEÍCULO ORIGINAL	Desligado	Desligado	37,4 dB	102 Hz	44,0 dB	102 Hz	
	Desligado	Marcha Lenta	51,2 dB	97 Hz	60,0 dB	703 Hz	
	Desligado	@ 1500 RPM	56,0 dB	47 Hz	65,6 dB	138 Hz	
	Desligado	@2000 RPM	54,9 dB	228 Hz	69,0 dB	763 Hz	
	Desligado	@3000 RPM	60,1 dB	108 Hz	75,8 dB	2187 Hz	
	Desligado	@4000 RPM	63,6 dB	124 Hz	81,3 dB	1934 Hz	
	Ligado Vel. 2	Desligado	57,3 dB	176 Hz	52,1 dB	395 Hz	
	Ligado Vel. 2	Marcha Lenta	58,0 dB	112 Hz	66,1 dB	196 Hz	
	Ligado Vel. 2	@ 1500 RPM	57,2 dB	47 Hz	66,9 dB	1966 Hz	
	Ligado Vel. 2	@2000 RPM	58,1 dB	113 Hz	67,6 dB	1188 Hz	
	Ligado Vel. 2	@3000 RPM	58,7 dB	114 Hz	76,1 dB	596 Hz	
	Ligado Vel. 2	@4000 RPM	65,0 dB	127 Hz	81,8 dB	1532 Hz	
		Média	56,5 dB	116 Hz	67,2 dB	975 Hz	
		Desvio	7,02	49,08	11,24	762,46	
		Maior	65,0 dB	228 Hz	81,8 dB	2187 Hz	
		Menor	37,4 dB	47 Hz	44,0 dB	102 Hz	
		Amplitude	27,6 dB	181 Hz	37,8 dB	2085 Hz	

Fonte: Autores

5.2. Veículo Sem Isolamento Acústico

A Tab. 2 apresenta os dados de Frequência e o nível de pressão acústica coletados dentro e fora do veículo sem isolamento acústico com as seguintes condições: Ar condicionado Ligado na velocidade 2 e desligado e com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM. Foi acrescentado na tabela o valor da média, desvio padrão, maior e o menor valor e a amplitude dos dados.

Tabela 2 - Veículo sem isolamento acústico


		Ensaio de Ruído				Data:
Modelo do Veículo:		Temperatura Ambiente: 30 C				18/05/2024
Condição do Veículo	Condição de Teste		Dentro do Veículo		Fora do Veículo	
	Ar Condicionado	Veículo	NPS	Frequência	NPS	Frequência
VEÍCULO SEM ISOLAMENTO	Desligado	Desligado	62,1 dB	96 Hz	47,0 dB	73 Hz
	Desligado	Marcha Lenta	54,1 dB	231 Hz	58,0 dB	570 Hz
	Desligado	@1500 RPM	52,9 dB	47 Hz	62,3 dB	676 Hz
	Desligado	@2000 RPM	54,4 dB	71 Hz	66,4 dB	217 Hz
	Desligado	@3000 RPM	61,1 dB	138 Hz	63,4 dB	912 Hz
	Desligado	@4000 RPM	66,9 dB	145 Hz	69,0 dB	1160 Hz
	Ligado Vel. 2	Desligado	56,2 dB	201 Hz	61,7 dB	230 Hz
	Ligado Vel. 2	Marcha Lenta	56,2 dB	75 Hz	61,4 dB	330 Hz
	Ligado Vel. 2	@1500 RPM	53,2 dB	138 Hz	64,3 dB	1591 Hz
	Ligado Vel. 2	@2000 RPM	59,8 dB	120 Hz	69,5 dB	242 Hz
	Ligado Vel. 2	@3000 RPM	63,1 dB	128 Hz	64,7 dB	615 Hz
	Ligado Vel. 2	@4000 RPM	64,8 dB	155 Hz	69,1 dB	1166 Hz
	Média		58,7 dB	129 Hz	63,1 dB	649 Hz
	Desvio		4,85	52,96	6,16	472,37
	Maior		66,9 dB	231 Hz	69,5 dB	1591 Hz
	Menor		52,9 dB	47 Hz	47,0 dB	73 Hz
	Amplitude		14,0 dB	184 Hz	22,5 dB	1518 Hz

Fonte: Autores

5.3. Veículo com Isolamento Acústico Adicional

A tab. 3 apresenta os dados de Frequência e o nível de pressão acústica coletados dentro e fora do veículo com isolamento acústico adicional com as seguintes condições: Ar condicionado Ligado na velocidade 2 e desligado e com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM. Foi acrescentado na tabela o valor da média, desvio padrão, maior e o menor valor e a amplitude dos dados.

Tabela 3 - Veículo com isolamento acústico adicional

		Ensaio de Ruído			Data:	
Modelo do Veículo:		Temperatura Ambiente: 29,5 C			18/05/2024	
Condição do Veículo	Condição de Teste		Dentro do Veículo		Fora do Veículo	
	Ar Condicionado	Veículo	NPS	Frequência	NPS	Frequência
VEÍCULO COM ISOLAMENTO ADICIONAL	Desligado	Desligado	37,3 dB	140 Hz	51,6 dB	120 Hz
	Desligado	Marcha Lenta	50,2 dB	47 Hz	57,3 dB	300 Hz
	Desligado	@1500 RPM	55,8 dB	73 Hz	61,8 dB	1740 Hz
	Desligado	@2000 RPM	51,4 dB	74 Hz	67,9 dB	1850 Hz
	Desligado	@3000 RPM	59,8 dB	94 Hz	63,7 dB	2100 Hz
	Desligado	@4000 RPM	59,6 dB	94 Hz	69,1 dB	1200 Hz
	Ligado Vel. 2	Desligado	46,1 dB	81 Hz	50,2 dB	100 Hz
	Ligado Vel. 2	Marcha Lenta	49,0 dB	73 Hz	64,2 dB	1000 Hz
	Ligado Vel. 2	@1500 RPM	59,6 dB	73 Hz	66,8 dB	1300 Hz
	Ligado Vel. 2	@2000 RPM	50,7 dB	76 Hz	68,6 dB	1550 Hz
	Ligado Vel. 2	@3000 RPM	63,1 dB	74 Hz	67,1 dB	1730 Hz
	Ligado Vel. 2	@4000 RPM	63,0 dB	112 Hz	68,5 dB	1900 Hz
	Média		53,8 dB	84 Hz	63,1 dB	1241 Hz
	Desvio		7,75	23,60	6,63	715,66
	Maior		63,1 dB	140 Hz	69,1 dB	2100 Hz
	Menor		37,3 dB	47 Hz	50,2 dB	100 Hz
	Amplitude		25,8 dB	93 Hz	18,9 dB	2000 Hz


Fonte: Autores

5.4. Cálculos

A análise dos dados foi conduzida utilizando o software Microsoft Excel 2016. Esta escolha foi motivada pela ampla aceitação e pela capacidade reconhecida do programa em lidar com análises quantitativas, além de fornecer ferramentas eficazes para organização, manipulação e visualização de dados. Com o Excel, os dados acústicos coletados foram estruturados em planilha, onde foram realizados cálculos.

A tab. 4 apresenta os valores de velocidade do som no ar, densidade do ar e impedância acústica, levando em consideração as temperaturas de cada dia de medição dos ensaios.

Tabela 4 - Cálculos de Temperatura



Cálculos

	Temperatura		
Característica	26,5 °C	29,5 °C	30,0 °C
Velocidade do som no ar	347,49 m/s	349,31 m/s	349,61 m/s
Densidade do Ar	1,1780 Km/m3	1,1663 Km/m3	1,1644 Km/m3
Impedancia	409,33 Kgm-2s-1	407,39 Kgm-2s-1	407,07 Kgm-2s-1

Fonte: Autores

A tab. 5 apresenta os dados de dentro do veículo e a tab. 6 - Cálculos dados fora do veículo apresenta os dados de fora do veículo de nível de ruído em diversas condições de operação do veículo, bem como para a análise do espectro de frequência, nível de fones e sonos, pressão sonora, intensidade, fator de diretividade, índice de diretividade e comprimento de onda com as seguintes condições: Ar condicionado Ligado na velocidade 2 e desligado e com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM. Foi acrescentado na tabela o valor da média, desvio padrão, maior e o menor valor e a amplitude dos dados.

Tabela 5 - Cálculos dados dentro do veículo

Fatec Santo André			Cálculos								Data: 20/05/2024	
Condição do Veículo	Condição de Teste		Dentro do Veículo									
	Ar Condicionado	Veículo	NPS	Fones	Sones	PRMS	Intensidade	Fator Diretividade	Índice de Diretividade	Frequência	Comprimento de Onda	
VEÍCULO ORIGINAL	Desligado	Desligado	37,4 dB	17,00	0,20	1,479E-03 Pa	5,345E-09 W/m²	5344,79	37,28	102 Hz	3,407E00 m	
	Desligado	Marcha Lenta	51,2 dB	39,00	0,93	7,244E-03 Pa	1,282E-07 W/m²	128212,58	51,08	97 Hz	3,582E00 m	
	Desligado	@1500 RPM	56,0 dB	26,00	0,38	1,259E-02 Pa	3,872E-07 W/m²	387195,80	55,88	47 Hz	7,393E00 m	
	Desligado	@2000 RPM	54,9 dB	55,00	2,83	1,109E-02 Pa	3,006E-07 W/m²	300559,62	54,78	228 Hz	1,524E00 m	
	Desligado	@3000 RPM	60,1 dB	52,00	2,30	2,018E-02 Pa	9,952E-07 W/m²	995246,45	59,98	108 Hz	3,217E00 m	
	Desligado	@4000 RPM	63,6 dB	58,00	3,48	3,020E-02 Pa	2,228E-06 W/m²	2228079,27	63,48	124 Hz	2,802E00 m	
	Ligado Vel. 2	Desligado	57,3 dB	56,00	3,03	1,462E-02 Pa	5,223E-07 W/m²	522312,76	57,18	176 Hz	1,974E00 m	
	Ligado Vel. 2	Marcha Lenta	58,0 dB	50,00	2,00	1,585E-02 Pa	6,137E-07 W/m²	613663,99	57,88	112 Hz	3,103E00 m	
	Ligado Vel. 2	@1500 RPM	57,2 dB	26,00	0,38	1,445E-02 Pa	5,104E-07 W/m²	510423,47	57,08	47 Hz	7,393E00 m	
	Ligado Vel. 2	@2000 RPM	58,1 dB	49,00	1,87	1,603E-02 Pa	6,280E-07 W/m²	627958,06	57,98	113 Hz	3,075E00 m	
VEÍCULO SEM ISOLAMENTO	Ligado Vel. 2	@3000 RPM	58,7 dB	50,00	2,00	1,718E-02 Pa	7,210E-07 W/m²	720992,32	58,58	114 Hz	3,048E00 m	
	Ligado Vel. 2	@4000 RPM	65,0 dB	62,00	4,59	3,548E-02 Pa	3,076E-06 W/m²	3075605,56	64,88	127 Hz	2,736E00 m	
		Média	56,5 dB	45,00	2,00	1,637E-02 Pa	8,430E-07 W/m²	842966,22	56,34	116,3 dB	3,605E00 m	
		Desvio	7,02	14,57	1,36	9,17E-03	9,03E-07	902919,95	7,02	49,08	1,862E00 m	
		Maior	65,0 dB	62,00	4,59	3,548E-02 Pa	3,076E-06 W/m²	3075605,56	64,88	228,0 dB	7,393E00 m	
		Menor	37,4 dB	17,00	0,20	1,479E-03 Pa	5,345E-09 W/m²	5344,79	37,28	47,0 dB	1,524E00 m	
		Amplitude	27,6 dB	45,00	4,39	3,400E-02 Pa	3,070E-06 W/m²	3070260,77	27,60	181,0 dB	5,869E00 m	
VEÍCULO COM ISOLAMENTO ADICIONAL	Desligado	Desligado	62,1 dB	53,00	2,46	2,541E-02 Pa	1,586E-06 W/m²	1586086,13	62,00	96 Hz	3,639E00 m	
	Desligado	Marcha Lenta	54,1 dB	55,00	2,83	1,012E-02 Pa	2,514E-07 W/m²	251377,71	54,00	231 Hz	1,512E00 m	
	Desligado	@1500 RPM	52,9 dB	18,00	0,22	8,810E-03 Pa	1,907E-07 W/m²	190689,49	52,80	47 Hz	7,432E00 m	
	Desligado	@2000 RPM	54,4 dB	31,00	0,54	1,047E-02 Pa	2,694E-07 W/m²	269356,07	54,30	71 Hz	4,920E00 m	
	Desligado	@3000 RPM	61,1 dB	58,00	3,48	2,265E-02 Pa	1,260E-06 W/m²	1259873,00	61,00	138 Hz	2,531E00 m	
	Desligado	@4000 RPM	66,9 dB	64,00	5,28	4,416E-02 Pa	4,790E-06 W/m²	4789903,55	66,80	145 Hz	2,409E00 m	
	Ligado Vel. 2	Desligado	56,2 dB	55,00	2,83	1,288E-02 Pa	4,077E-07 W/m²	407686,91	56,10	201 Hz	1,738E00 m	
	Ligado Vel. 2	Marcha Lenta	56,2 dB	39,00	0,93	1,288E-02 Pa	4,077E-07 W/m²	407686,91	56,10	75 Hz	4,657E00 m	
	Ligado Vel. 2	@1500 RPM	53,2 dB	46,00	1,52	9,120E-03 Pa	2,043E-07 W/m²	204327,48	53,10	138 Hz	2,531E00 m	
	Ligado Vel. 2	@2000 RPM	59,8 dB	54,00	2,64	1,950E-02 Pa	9,340E-07 W/m²	933956,76	59,70	120 Hz	2,911E00 m	
Total	Ligado Vel. 2	@3000 RPM	63,1 dB	59,00	3,73	2,851E-02 Pa	1,997E-06 W/m²	1996764,14	63,00	128 Hz	2,729E00 m	
	Ligado Vel. 2	@4000 RPM	64,8 dB	62,00	4,59	3,467E-02 Pa	2,953E-06 W/m²	2953430,59	64,70	155 Hz	2,254E00 m	
		Média	58,7 dB	49,50	2,59	1,993E-02 Pa	1,271E-06 W/m²	1270928,23	58,64	128,8 dB	3,272E00 m	
		Desvio	4,85	13,75	1,57	1,14E-02	1,41E-06	1407492,61	4,85	52,96	1,674E00 m	
		Maior	66,9 dB	64,00	5,28	4,416E-02 Pa	4,790E-06 W/m²	4789903,55	66,80	231,0 dB	7,432E00 m	
		Menor	52,9 dB	18,00	0,22	8,810E-03 Pa	1,907E-07 W/m²	190689,49	52,80	47,0 dB	1,512E00 m	
		Amplitude	14,0 dB	46,00	5,06	3,535E-02 Pa	4,599E-06 W/m²	4599214,05	14,00	184,0 dB	5,920E00 m	

Fonte: Autores

Tabela 6 - Cálculos dados fora do veículo

Fatec Santo André			Cálculos								Data: 20/05/2024	
Condição do Veículo	Condição de Teste		Fora do Veículo									
	Ar Condicionado	Veículo	NPS	Fones	Sones	PRMS	Intensidade	Fator Diretividade	Índice de Diretividade	Frequência	Comprimento de Onda	
VEÍCULO ORIGINAL	Desligado	Desligado	44,0 dB	30,00	0,50	3,162E-03 Pa	2,443E-08 W/m²	24430,40	43,88	102 Hz	3,407E00 m	
	Desligado	Marcha Lenta	60,0 dB	62,00	4,59	1,995E-02 Pa	9,726E-07 W/m²	972591,88	59,88	703 Hz	4,943E-01 m	
	Desligado	@1500 RPM	65,6 dB	60,00	4,00	3,802E-02 Pa	3,531E-06 W/m²	3531267,66	65,48	138 Hz	2,518E00 m	
	Desligado	@2000 RPM	69,0 dB	72,00	9,20	5,623E-02 Pa	7,726E-06 W/m²	7725571,88	68,88	763 Hz	4,554E-01 m	
	Desligado	@3000 RPM	75,8 dB	78,00	13,93	1,230E-01 Pa	3,698E-05 W/m²	36976911,80	75,68	2187 Hz	1,589E-01 m	
	Desligado	@4000 RPM	81,3 dB	84,00	21,11	2,317E-01 Pa	1,312E-04 W/m²	131199034,00	81,18	1934 Hz	1,797E-01 m	
	Ligado Vel. 2	Desligado	52,1 dB	54,00	2,64	8,035E-03 Pa	1,577E-07 W/m²	157735,93	51,98	395 Hz	8,797E-01 m	
	Ligado Vel. 2	Marcha Lenta	66,1 dB	67,00	6,50	4,027E-02 Pa	3,962E-06 W/m²	3962147,48	65,98	196 Hz	1,773E00 m	
	Ligado Vel. 2	@1500 RPM	66,9 dB	68,00	6,96	4,416E-02 Pa	4,764E-06 W/m²	4763549,01	66,78	1966 Hz	1,767E-01 m	
	Ligado Vel. 2	@2000 RPM	67,6 dB	67,00	6,50	4,786E-02 Pa	5,597E-06 W/m²	5596682,08	67,48	1188 Hz	2,925E-01 m	
Ligado Vel. 2	@3000 RPM	76,1 dB	79,00	14,93	1,274E-01 Pa	3,962E-05 W/m²	39621474,84	75,98	596 Hz	5,830E-01 m		
Ligado Vel. 2	@4000 RPM	81,8 dB	81,00	17,15	2,455E-01 Pa	1,472E-04 W/m²	147207737,34	81,68	1532 Hz	2,268E-01 m		
	Média	67,2 dB	66,83	9,00	8,211E-02 Pa	3,181E-05 W/m²	31811594,53	67,07	975,0 dB	9,287E-01 m		
	Desvio	11,24	14,73	6,37	8,28E-02	5,21E-05	52066012,09	11,24	762,46	1,067E00 m		
	Maior	81,8 dB	84,00	21,11	2,455E-01 Pa	1,472E-04 W/m²	147207737,34	81,68	2187,0 dB	3,407E00 m		
	Menor	44,0 dB	30,00	0,50	3,162E-03 Pa	2,443E-08 W/m²	24430,40	43,88	102,0 dB	1,589E-01 m		
	Amplitude	37,8 dB	54,00	20,61	2,423E-01 Pa	1,472E-04 W/m²	147183306,93	37,80	2085,0 dB	3,248E00 m		
VEÍCULO SEM ISOLAMENTO	Desligado	Desligado	47,0 dB	21,00	0,27	4,467E-03 Pa	4,901E-08 W/m²	49014,75	46,90	73 Hz	4,785E00 m	
	Desligado	Marcha Lenta	58,0 dB	60,00	4,00	1,585E-02 Pa	6,171E-07 W/m²	617059,11	57,90	570 Hz	6,128E-01 m	
	Desligado	@1500 RPM	62,3 dB	64,00	5,28	2,600E-02 Pa	1,661E-06 W/m²	1660836,07	62,20	676 Hz	5,167E-01 m	
	Desligado	@2000 RPM	66,4 dB	66,00	6,06	4,169E-02 Pa	4,269E-06 W/m²	4269006,03	66,30	217 Hz	1,610E00 m	
	Desligado	@3000 RPM	63,4 dB	61,00	4,29	2,951E-02 Pa	2,140E-06 W/m²	2139571,32	63,30	912 Hz	3,830E-01 m	
	Desligado	@4000 RPM	69,0 dB	69,00	7,46	5,623E-02 Pa	7,768E-06 W/m²	7768313,94	68,90	1160 Hz	3,011E-01 m	
	Ligado Vel. 2	Desligado	61,7 dB	62,00	4,59	2,427E-02 Pa	1,447E-06 W/m²	1446527,75	61,60	230 Hz	1,519E00 m	
	Ligado Vel. 2	Marcha Lenta	61,4 dB	63,00	4,92	2,344E-02 Pa	1,350E-06 W/m²	1349978,24	61,30	330 Hz	1,059E00 m	
	Ligado Vel. 2	@1500 RPM	64,3 dB	64,00	5,28	3,273E-02 Pa	2,632E-06 W/m²	2632247,78	64,20	1591 Hz	2,196E-01 m	
	Ligado Vel. 2	@2000 RPM	69,5 dB	72,00	9,19	5,957E-02 Pa	8,716E-06 W/m²	8716191,60	69,40	242 Hz	1,443E00 m	
Ligado Vel. 2	@3000 RPM	64,7 dB	69,00	7,46	3,428E-02 Pa	2,886E-06 W/m²	2886202,30	64,60	615 Hz	5,680E-01 m		
Ligado Vel. 2	@4000 RPM	69,1 dB	71,00	8,57	5,689E-02 Pa	7,949E-06 W/m²	7949261,22	69,00	1166 Hz	2,996E-01 m		
	Média	63,1 dB	61,83	5,61	3,374E-02 Pa	3,457E-06 W/m²	3457017,51	62,97	648,5 dB	1,110E00 m		
	Desvio	6,16	13,45	2,40	1,71E-02	3,03E-06	3033379,53	6,16	472,37	1,264E00 m		
	Maior	69,5 dB	72,00	9,19	5,957E-02 Pa	8,716E-06 W/m²	8716191,60	69,40	1591,0 dB	4,785E00 m		
	Menor	47,0 dB	21,00	0,27	4,467E-03 Pa	4,901E-08 W/m²	49014,75	46,90	73,0 dB	2,196E-01 m		
	Amplitude	22,5 dB	51,00	8,92	5,510E-02 Pa	8,667E-06 W/m²	8667176,85	22,50	1518,0 dB	4,565E00 m		
VEÍCULO COM ISOLAMENTO ADICIONAL	Desligado	Desligado	51,6 dB	41,00	1,07	7,586E-03 Pa	1,412E-07 W/m²	141249,54	51,50	120 Hz	2,911E00 m	
	Desligado	Marcha Lenta	57,3 dB	60,00	4,00	1,462E-02 Pa	5,248E-07 W/m²	524791,82	57,20	300 Hz	1,164E00 m	
	Desligado	@1500 RPM	61,8 dB	62,00	4,59	2,455E-02 Pa	1,479E-06 W/m²	1479064,30	61,70	1740 Hz	2,008E-01 m	
	Desligado	@2000 RPM	67,9 dB	68,00	6,96	4,955E-02 Pa	6,025E-06 W/m²	6025416,24	67,80	1850 Hz	1,888E-01 m	
	Desligado	@3000 RPM	63,7 dB	66,00	6,06	3,055E-02 Pa	2,291E-06 W/m²	2290799,36	63,60	2100 Hz	1,663E-01 m	
	Desligado	@4000 RPM	69,1 dB	69,00	7,46	5,689E-02 Pa	7,943E-06 W/m²	7943045,56	69,00	1200 Hz	2,911E-01 m	
	Ligado Vel. 2	Desligado	50,2 dB	38,00	0,87	6,457E-03 Pa	1,023E-07 W/m²	102326,25	50,10	100 Hz	3,493E00 m	
	Ligado Vel. 2	Marcha Lenta	64,2 dB	65,00	5,66	3,236E-02 Pa	2,570E-06 W/m²	2570319,16	64,10	1000 Hz	3,493E-01 m	
	Ligado Vel. 2	@1500 RPM	66,8 dB	67,00	6,50	4,365E-02 Pa	4,677E-06 W/m²	4677211,98	66,70	1300 Hz	2,687E-01 m	
	Ligado Vel. 2	@2000 RPM	68,6 dB	68,00	6,96	5,370E-02 Pa	7,079E-06 W/m²	7079246,80	68,50	1550 Hz	2,254E-01 m	
Ligado Vel. 2	@3000 RPM	67,1 dB	69,00	7,46	4,519E-02 Pa	5,012E-06 W/m²	5011722,93	67,00	1730 Hz	2,019E-01 m		
Ligado Vel. 2	@4000 RPM	68,5 dB	69,00	7,46	5,309E-02 Pa	6,918E-06 W/m²	6918103,47	68,40	1900 Hz	1,838E-01 m		
	Média	63,1 dB	61,83	5,42	3,485E-02 Pa	3,730E-06 W/m²	3730274,78	62,97	1240,8 dB	8,037E-01 m		
	Desvio	6,63	10,83	2,36	1,82E-02	2,89E-06	2887835,70	6,63	715,66	1,159E00 m		
	Maior	69,1 dB	69,00	7,46	5,689E-02 Pa	7,943E-06 W/m²	7943045,56	69,00	2100,0 dB	3,493E00 m		
	Menor	50,2 dB	38,00	0,87	6,457E-03 Pa	1,023E-07 W/m²	102326,25	50,10	100,0 dB	1,663E-01 m		
	Amplitude	18,9 dB	31,00	6,59	5,043E-02 Pa	7,841E-06 W/m²	7840719,31	18,90	2000,0 dB	3,327E00 m		
	Média	64,4 dB	63,50	6,68	5,023E-02 Pa	1,300E-05 W/m²	12999628,94	64,34	954,8 dB	9,474E-01 m		
Total	Desvio	8,33	12,95	4,37	5,36E-02	3,22E-05	32241493,02	8,33	688,59	1,140E00 m		
	Maior	81,8 dB	84,00	21,11	2,455E-01 Pa	1,472E-04 W/m²	147207737,34	81,68	2187,0 dB	3,493E00 m		
	Menor	44,0 dB	30,00	0,50	3,162E-03 Pa	2,443E-08 W/m²	24430,40	43,88	100,0 dB	1,589E-01 m		
	Amplitude	37,8 dB	54,00	20,61	2,423E-01 Pa	1,472E-04 W/m²	147183306,93	37,80	2087,0 dB	3,334E00 m		

Fonte: Autores

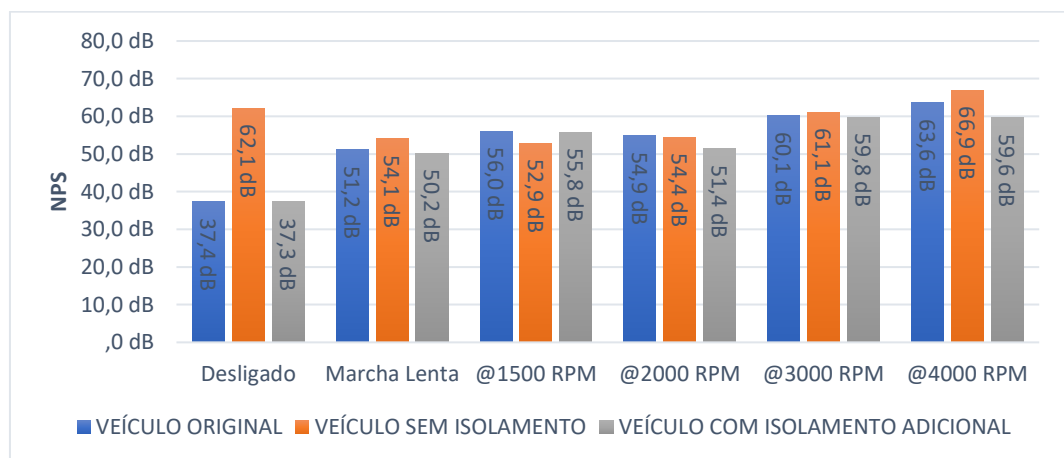
5.5. Gráficos

Os gráficos comparativos que ilustram a variação dos dados acústicos ao longo de diferentes condições operacionais do veículo. Esses gráficos proporcionarão uma análise visual abrangente das tendências observadas nos níveis de ruído em cenários distintos. Através dessas representações visuais, será possível identificar de forma mais clara e intuitiva os padrões significativos nos dados, contribuindo para uma compreensão mais profunda do

comportamento acústico do veículo em diferentes contextos. Essa abordagem comparativa permitirá não apenas uma avaliação mais detalhada do desempenho acústico do veículo, mas também a identificação de áreas específicas que possam requerer atenção especial no que diz respeito à redução do ruído e à melhoria do conforto dos ocupantes.

O Gráf. 1, apresenta a comparação dos dados do nível de pressão sonora de dentro do veículo com o ar condicionado desligado nas 3 condições: Veículo original, Veículo sem isolamento acústico e Veículo com isolamento acústico adicional, com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM.

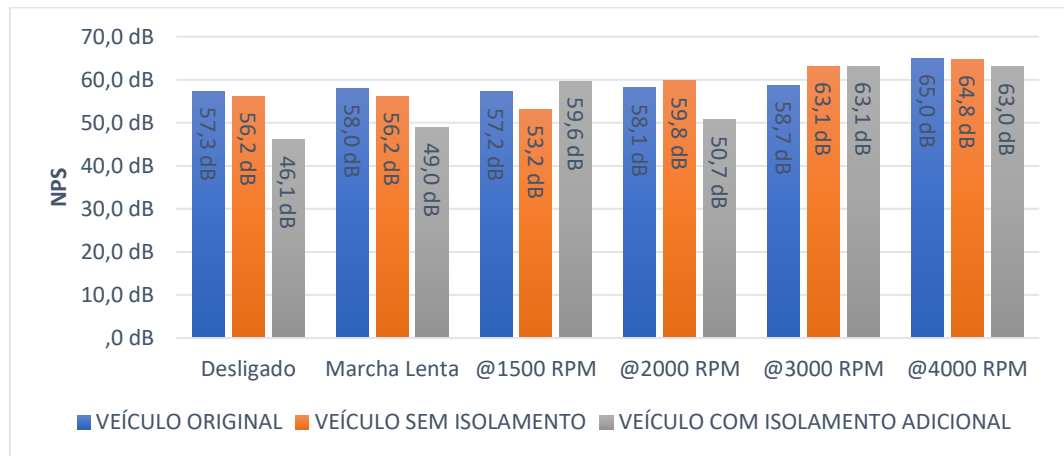
Gráfico 1 - NPS dentro do veículo ar desligado



Fonte: Autores

O Gráf. 2, apresenta a comparação dos dados do nível de pressão sonora de dentro do veículo com o ar condicionado ligado na velocidade 2 nas 3 condições: Veículo original, Veículo sem isolamento acústico e Veículo com isolamento acústico adicional, com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM.

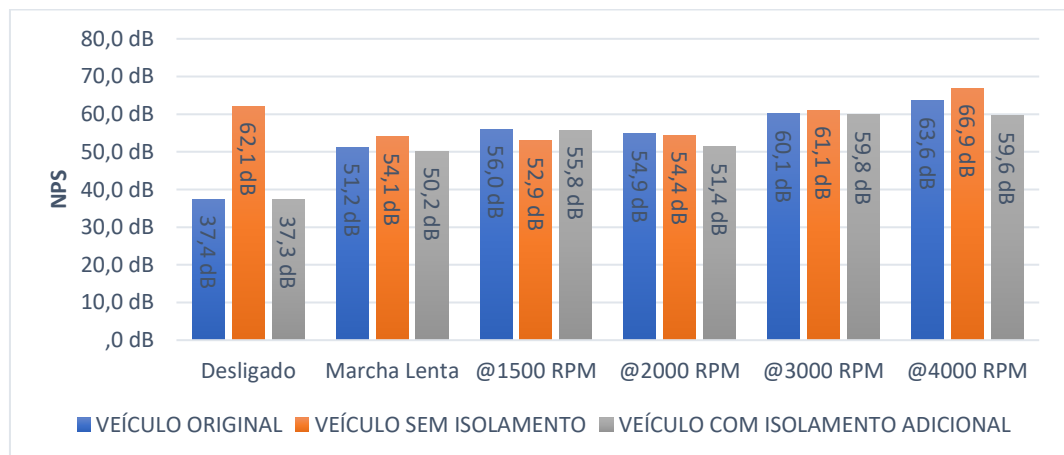
Gráfico 2 - NPS dentro do veículo ar ligado velocidade 2



Fonte: Autores

O Gráf. 3, apresenta a comparação dos dados do nível de pressão sonora de fora do veículo com o ar condicionado desligado nas 3 condições: Veículo original, Veículo sem isolamento acústico e Veículo com isolamento acústico adicional, com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM.

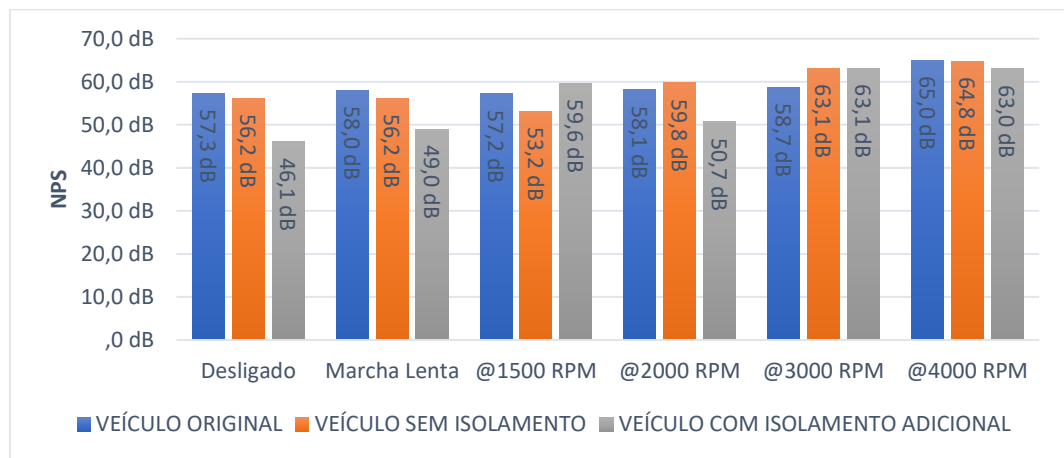
Gráfico 3 - NPS fora do veículo ar desligado



Fonte: Autores

O Gráf. 4, apresenta a comparação dos dados do nível de pressão sonora de fora do veículo com o ar condicionado ligado na velocidade 2 nas 3 condições: Veículo original, Veículo sem isolamento acústico e Veículo com isolamento acústico adicional, com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM.

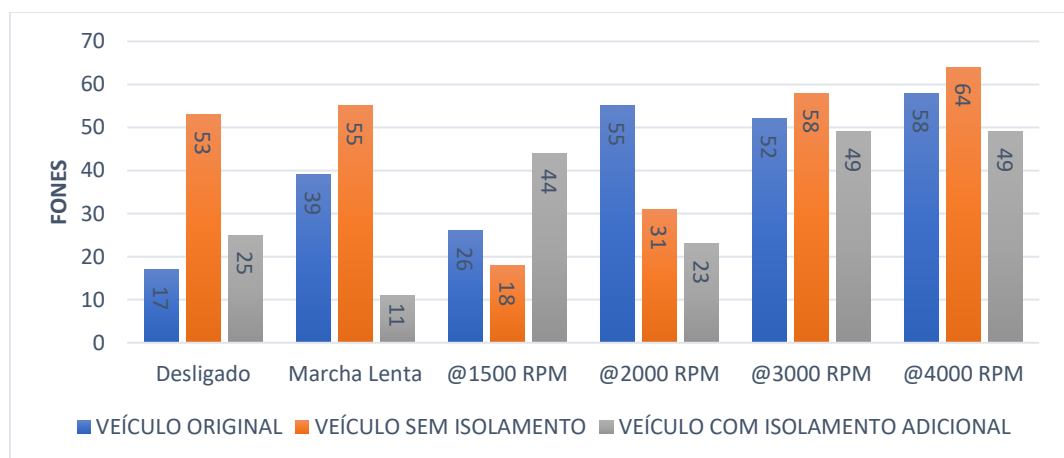
Gráfico 4 - NPS fora do veículo ar ligado velocidade 2



Fonte: Autores

O Gráf.5, apresenta a comparação dos valores de Fones de dentro do veículo com o ar condicionado desligado nas 3 condições: Veículo original, Veículo sem isolamento acústico e Veículo com isolamento acústico adicional, com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM.

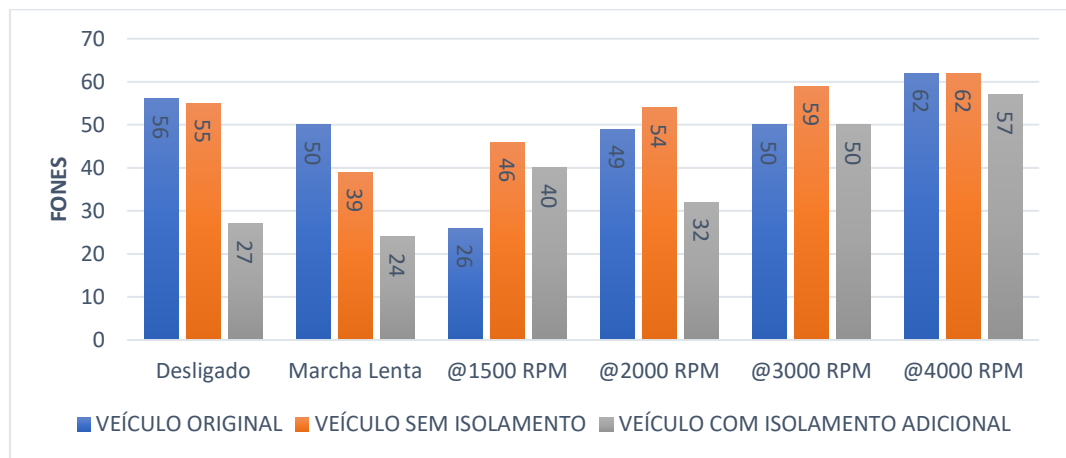
Gráfico 5 - Fones dentro do veículo Ar desligado



Fonte: Autores

O Gráf. 6, apresenta a comparação dos valores de Fones de dentro do veículo com o ar condicionado ligado na velocidade 2 nas 3 condições: Veículo original, Veículo sem isolamento acústico e Veículo com isolamento acústico adicional, com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM.

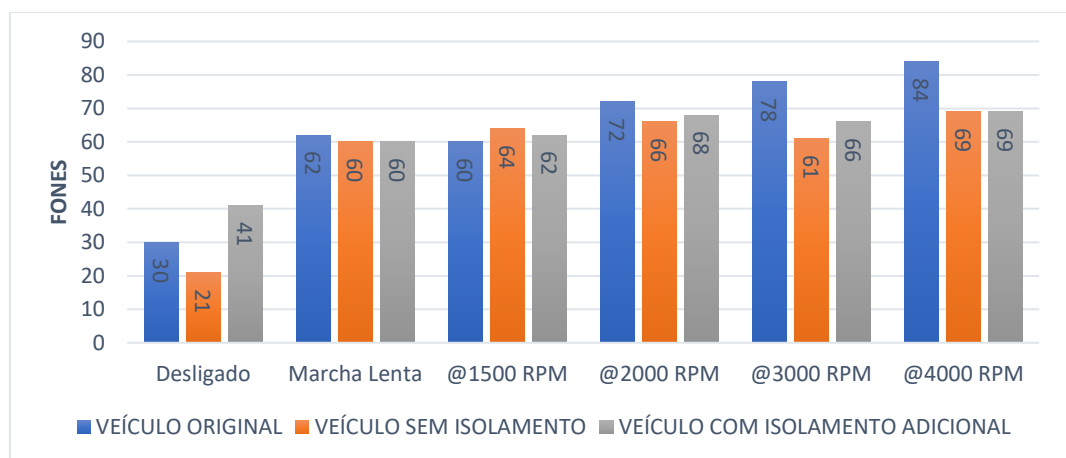
Gráfico 6 - Fones dentro do veículo Ar ligado velocidade 2



Fonte: Autores

O Gráf. 7, apresenta a comparação dos valores de Fones de Fora do veículo com o ar condicionado desligado nas 3 condições: Veículo original, Veículo sem isolamento acústico e Veículo com isolamento acústico adicional, com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM.

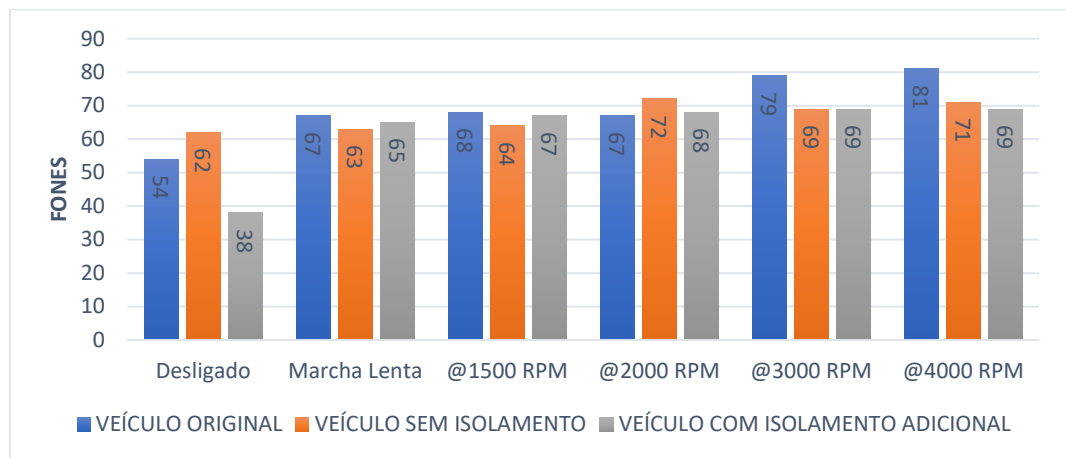
Gráfico 7 - Fones fora do veículo Ar desligado



Fonte: Autores

O Gráf. 8, apresenta a comparação dos valores de Fones de fora do veículo com o ar condicionado ligado na velocidade 2 nas 3 condições: Veículo original, Veículo sem isolamento acústico e Veículo com isolamento acústico adicional, com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM.

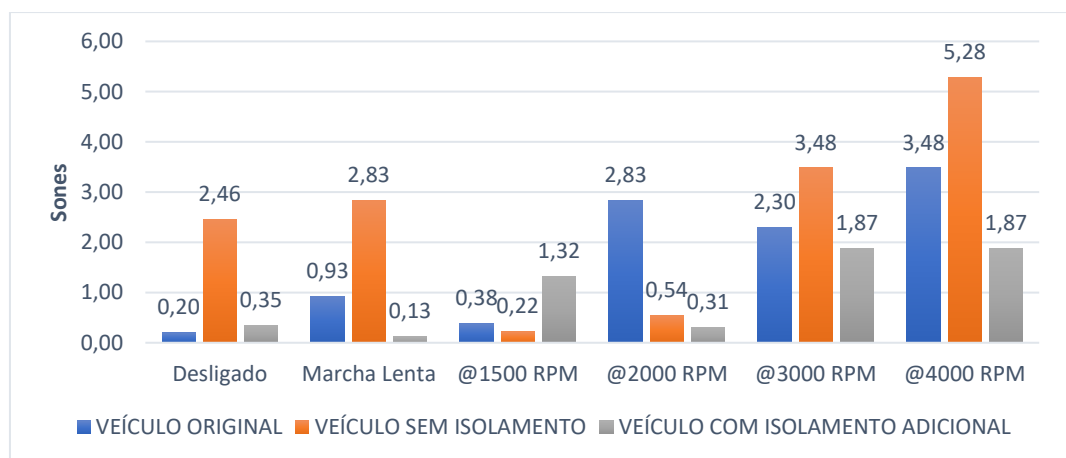
Gráfico 8 - Fones fora do veículo Ar ligado velocidade 2



Fonte: Autores

O Gráf. 9, apresenta a comparação dos valores de Sones de dentro do veículo com o ar condicionado desligado nas 3 condições: Veículo original, Veículo sem isolamento acústico e Veículo com isolamento acústico adicional, com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM.

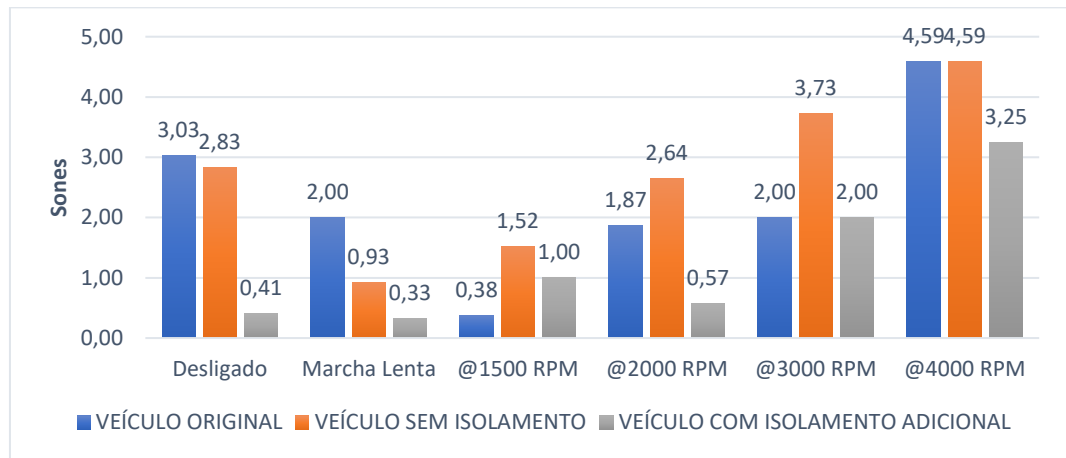
Gráfico 9 - Sones dentro do veículo Ar desligado



Fonte: Autores

O Gráf. 10, apresenta a comparação dos valores de Sones de dentro do veículo com o ar condicionado ligado na velocidade 2 nas 3 condições: Veículo original, Veículo sem isolamento acústico e Veículo com isolamento acústico adicional, com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @1500 RPM, @2000 RPM, @3000 RPM e 4000 RPM.

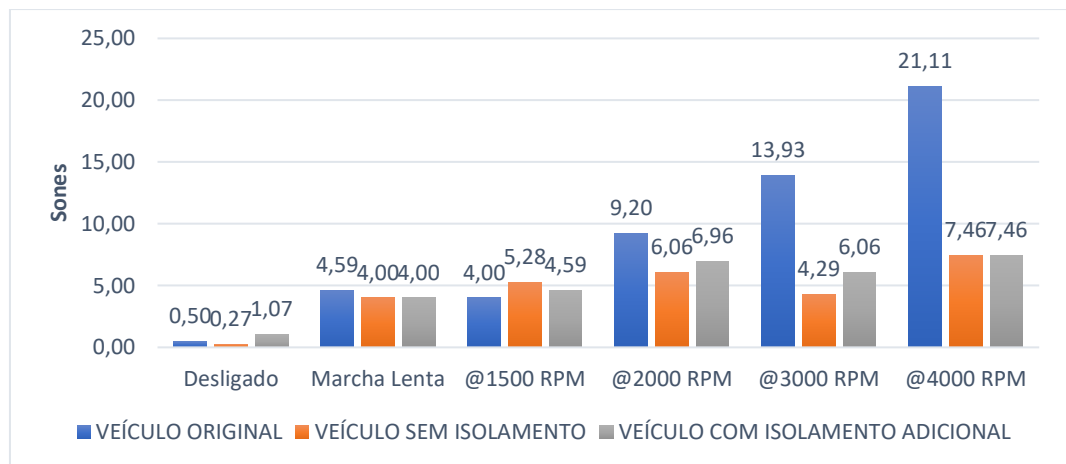
Gráfico 10 - Sones dentro do veículo Ar ligado velocidade 2



Fonte: Autores

O Gráf. 11, apresenta a comparação dos valores de Sones de Fora do veículo com o ar condicionado desligado nas 3 condições: Veículo original, Veículo sem isolamento acústico e Veículo com isolamento acústico adicional, com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @ 1500 RPM, @ 2000 RPM, @ 3000 RPM e 4000 RPM.

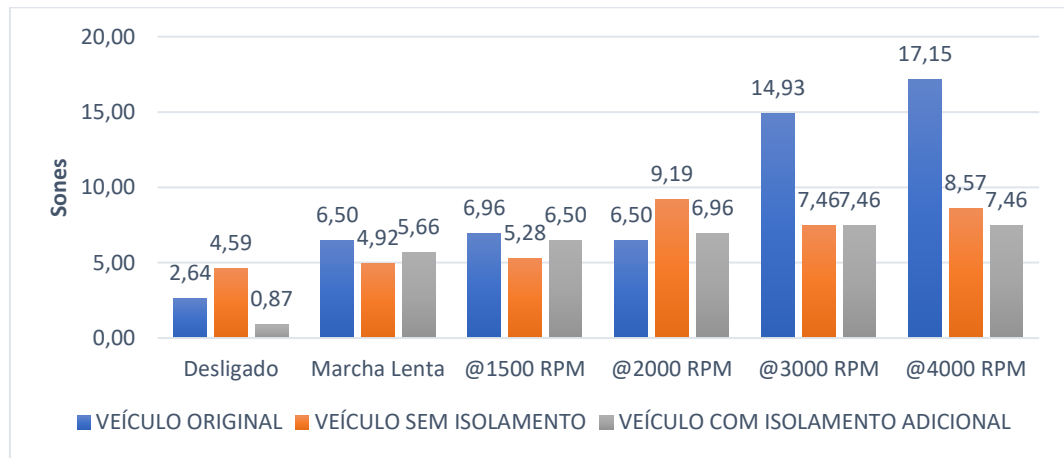
Gráfico 11 - Sones fora do veículo Ar desligado



Fonte: Autores

O Gráf. 12, apresenta a comparação dos valores de Sones de fora do veículo com o ar condicionado ligado na velocidade 2 nas 3 condições: Veículo original, Veículo sem isolamento acústico e Veículo com isolamento acústico adicional, com as rotações do motor nas seguintes condições: Veículo desligado, marcha lenta, @ 1500 RPM, @ 2000 RPM, @ 3000 RPM e 4000 RPM.

Gráfico 12 - Sones fora do veículo Ar ligado velocidade 2



Fonte: Autores

6 RESULTADOS

Os testes revelaram que, ao realizar medições de dentro do veículo com o ar-condicionado desligado e sem isolamento acústico, observou-se um aumento notável no Nível de Pressão Sonora (NPS) e nas frequências sonoras emitidas. Esse aumento foi particularmente evidente quando o veículo estava parado, em marcha lenta e a 4000rpm, registrando um acréscimo de 3,3dB em relação ao veículo original e de 7,3dB em comparação ao veículo com isolamento adicional.

Nos testes dentro do veículo com o ar-condicionado ligado, foi evidenciada a eficácia dos isolamentos acústicos adicionais, especialmente quando o veículo estava desligado, em marcha lenta e a 2000rpm. Nessas condições, houve uma redução notável de 7,4dB em relação ao veículo original e de 9,1dB em relação ao veículo sem isolamento acústico.

Fora do veículo, com o ar-condicionado desligado, verificou-se um aumento do NPS em quase todas as faixas de rotação, exceto a 1500rpm, quando o veículo estava sem isolamento acústico. Em contrapartida, foi observada uma diminuição no NPS quando o veículo utilizava isolamento adicional, comparativamente ao veículo original e ao veículo sem isolamento.

Finalmente, fora do veículo, com o ar-condicionado ligado, constatou-se uma redução significativa do NPS quando o veículo estava desligado, em marcha lenta e a 2000rpm, com o uso do isolamento acústico adicional.

7 CONCLUSÃO

Por meio dos testes realizados, foi possível constatar que o veículo utilizado nas análises dispõe de um isolamento acústico original de alta qualidade, com a presença de feltros no assoalho, notadamente para atenuar as frequências sonoras mais baixas. No entanto, observou-se uma melhoria adicional na redução do ruído ao incorporar feltros similares aos utilizados pela montadora, em maior quantidade tanto no assoalho quanto nas portas do veículo. Em diferentes faixas de rotação, foi possível verificar uma diminuição tanto no Nível de Pressão Sonora (NPS) quanto na frequência sonora, especialmente dentro do veículo, o que sugere uma mitigação tanto da refração quanto da difração e uma ampliação da absorção sonora com a introdução do novo material isolante acústico.

Ademais, ao desmontar o veículo e retirar o isolamento acústico, constatou-se um aumento significativo do ruído tanto interno quanto externo, decorrente da menor impedância resultante da reduzida densidade de materiais isolantes acústicos, tendo em vista que várias partes metálicas ficaram expostas.

Assim, pôde-se perceber a relevância de um isolamento acústico adequado nos veículos e o crescente interesse dos fabricantes em aprimorar o conforto acústico proporcionado por seus automóveis, além de reduzir a poluição sonora. Este esforço inclui melhorias no sistema de escapamento dos veículos e um reforço no isolamento acústico, especialmente com a introdução dos veículos elétricos, onde a quase ausência de ruído tornará os ocupantes mais sensíveis a sons anteriormente inaudíveis. Essa busca por aperfeiçoamento não apenas visa o conforto dos passageiros, mas também contribui para uma experiência de condução mais agradável e segura, ao minimizar possíveis distrações provocadas pelo excesso de ruído.

REFERÊNCIAS

BISTAFA, Sylvio R. Acústica Aplicada ao Controle de Ruído. 2 ed. rev. São Paulo: Blucher, 2011. 380p.

BRIZON, Carla Júlio Silveira. Metodologia para avaliação e determinação de índices de conforto acústico em engenharia automobilística. 2012. 208 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

C. G. Rodrigues. Ondas, Acústica, Psicoacústica e Poluição Sonora, ISBN 978-65-00-06846-7, ed. do autor, 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA 2000, Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política.

COSTA, Rogério Gondim. Influência da suspensão do motor nas vibrações do volante de um veículo. 2003. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

FLOR, Daniel de Lucena. Caracterização de Ruído Acústico dentro de Veículos com Diferentes Condições de Tráfego. 2021 Número de ordem PPgEEC: M633

GENUIT, Klaus. The sound quality of vehicle interior noise: a challenge for the NVHengineers. International Journal of Vehicle Noise and Vibration, v. 1, p. 158-168, 2004

GERGES, Samir N. Y. Ruído: fundamentos e controle. 2 ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GOETCHIUS, Gregory Michael. Body Structure Noise and Vibration Refinement. In: WANG, Xu. Vehicle Noise and Vibration Refinement. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2010. Capítulo 15, p. 351-386.

John B. Heywood. Internal Combustion Engine Fundamentals 2E, McGraw-Hill Companies; 2nd ed. edição (1 maio 2018).

KINSLER, Lawrence E. et al. Fundamentals of Acoustics. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000. 548p.

LEMAITRE, G. et al. Psychoacoustical study of wind buffeting noise. Applied Acoustics, v. 95, p. 1-12, 2015.

MARCELINO, Eliel Wellington. Acústica Automobilística. Aulas ministradas na FATEC Santo André, 2024.

MAREZE, P.H. Análise da influência da micro geometria na absorção Sonora de materiais porosos de estrutura rígida. 2013, 285 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

NBR12179 de 04/1992: Tratamento acústico em recintos fechados.

NOR, M.J.M. et al. Index for vehicle acoustical comfort inside a passenger car. Applied Acoustics, v. 69, p. 343-353, 2008.

SCHMID, Aloísio Leoni. A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SHIN, S.H. et al. Sound quality evaluation of the booming sensation for passenger cars. Applied Acoustics, v. 70, p. 309-320, 2009.

VIGÈ, Davide. Cabin Sound Package Design and Development. In: WANG, Xu. Vehicle Noise and Vibration Refinement. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2010. C. 13, p. 286-317.


APÊNDICE A

INFORMAÇÕES ADICIONAIS

A.1. Ficha de Medição

A tab. 7 – Ficha de medição foi utilizada para a coleta e organização dos dados durante as condições de medições.

Tabela 7 - Ficha de medição

			Ensaio de Ruído		Data:	
Modelo do Veículo:						
Condição do Veículo	Condição de Teste		Dentro do Veículo		Fora do Veículo	
	Ar Condicionado	Veículo	NPS	Frequência	NPS	Frequência
VEÍCULO ORIGINAL	Desligado	Desligado				
	Desligado	Marcha Lenta				
	Desligado	@ 1500 RPM				
	Desligado	@ 2000 RPM				
	Desligado	@ 3000 RPM				
	Desligado	@ 4000 RPM				
	Ligado Vel. 2	Desligado				
	Ligado Vel. 2	Marcha Lenta				
	Ligado Vel. 2	@ 1500 RPM				
	Ligado Vel. 2	@ 2000 RPM				
	Ligado Vel. 2	@ 3000 RPM				
		Média				
		Desvio				
		Maior				
		Menor				
		Amplitude				
VEÍCULO SEM ISOLAMENTO	Desligado	Desligado				
	Desligado	Marcha Lenta				
	Desligado	@ 1500 RPM				
	Desligado	@ 2000 RPM				
	Desligado	@ 3000 RPM				
	Desligado	@ 4000 RPM				
	Ligado Vel. 2	Desligado				
	Ligado Vel. 2	Marcha Lenta				
	Ligado Vel. 2	@ 1500 RPM				
	Ligado Vel. 2	@ 2000 RPM				
	Ligado Vel. 2	@ 3000 RPM				
		Média				
		Desvio				
		Maior				
		Menor				
		Amplitude				
VEÍCULO COM ISOLAMENTO ADICIONAL	Desligado	Desligado				
	Desligado	Marcha Lenta				
	Desligado	@ 1500 RPM				
	Desligado	@ 2000 RPM				
	Desligado	@ 3000 RPM				
	Desligado	@ 4000 RPM				
	Ligado Vel. 2	Desligado				
	Ligado Vel. 2	Marcha Lenta				
	Ligado Vel. 2	@ 1500 RPM				
	Ligado Vel. 2	@ 2000 RPM				
	Ligado Vel. 2	@ 3000 RPM				
		Média				
		Desvio				
		Maior				
		Menor				
		Amplitude				
Total		Média				
		Desvio				
		Maior				
		Menor				
		Amplitude				


Fonte: Autores

A.2. Procedimento

O proced. 1 –P-EN0001 R.0 Ensaio acústico veicular foi utilizada para realizar os testes no veículo.

Procedimento 1 - P-EN0001 R.0 Ensaio acústico veicular

1

	TÍTULO:
	PROCEDIMENTO OPERACIONAL ENSAIO DE RUÍDO VEÍCULAR
	NÚMERO E VERSÃO: P-EN0001 VER. 00

1. OBJETIVO

Este procedimento visa estabelecer os critérios e padrões para à realização do ensaio de medição de ruído para veículos de combustão interna.

2. CAMPO DE APLICAÇÃO

Esta norma aplica-se para os veículos de combustão interna, com o intuito de adquirir dados de ensaios de ruído.

3. RESPONSABILIDADE

É de responsabilidade do indivíduo que irá realizar o ensaio o cumprimento deste procedimento.

4. SET-UP

1- Posicione o veículo que irá ser testado sobre o dinamômetro. Para garantir sempre o mesmo ponto de medição no espaço.

2- Posicione o decibelímetro e o medidor de frequência a 1 metro de distância da grade frontal do veículo e 1 metro do chão.

3- Posicione o decibelímetro e o medidor de frequência dentro do veículo próximo ao ouvido direito do motorista.

4- Ligar o veículo em marcha lenta e fazer o warm up por aproximadamente por 5 minutos.

5- Medir a temperatura de interface do motor usando termômetro a laser, para verificar se o motor atingiu a temperatura ideal de trabalho.

5. MÉTODO

Para iniciar o ensaio é necessário preencher o modelo do veículo e a temperatura ambiente. Utilize o anexo AN-EM0001 para preencher os resultados obtidos no teste.

5.1 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Deve ser realizado o teste com o veículo em 3 condições diferentes 1ºVeículo em condição original, 2ºVeículo sem isolamento acústico e 3ºVeículo com isolamento adicional. Em cada uma das condições do veículo deve ser considerado mais duas condições o ar-condicionado: 1ºDesligado e 2ºAr-condicionado ligado na velocidade 2. Para a aquisição dos dados será considerado algumas condições de funcionamento do veículo: 1º Veículo desligado, 2 ° Veículo em marcha lenta, 3 ° Veículo @1500RPM, 4 ° Veículo @2000RPM, 5° ° Veículo @3000 RPM, 6 ° Veículo @4000RPM. Devem ser captados os valores de NPS e frequência de dentro e de fora do veículo.

Elaborado: Lucas Munhoz	Aprovado: ME. Eliel Marcelino	Data de criação: 02/04/2024
-------------------------	-------------------------------	-----------------------------

Fonte: Autores