

# REDUÇÃO DE RUÍDO EM SISTEMAS DE EXAUSTÃO - SILENCIOSO PARA VEÍCULOS COMERCIAIS

**Fabio Bayerl (UDESC)**

fabio\_bayerl@yahoo.com.br

**Fernanda Hansch Beuren (UDESC)**

fernandahansch@yahoo.com.br



*O assunto relacionado a consciência ambiental vem gerando discussões em diferentes setores. Este trabalho visa apresentar um estudo realizado com veículos automotores sobre a redução de emissões. A legislação tornou-se mais rigorosa na última década e isto tende a aumentar nos próximos anos. Além dos limites mais rígidos para gases nocivos, a emissão de ruído também é uma preocupação. O ruído mais perceptível em um veículo é o ruído gerado no motor. O dispositivo que trabalha na atenuação desse ruído é o silencioso, que faz parte do sistema de exaustão. Existem algumas maneiras de reduzir o ruído antes de liberar o gás para o meio ambiente, que precisam ser combinadas para obter um resultado satisfatório. Este resultado é uma das exigências para que o veículo receba a aprovação dos departamentos competentes para ser comercializado no Brasil.*

*Palavras-chave: Redução de ruído, sistema de exaustão, silencioso automotivo*

## 1. Introdução

Este trabalho se justifica pela necessidade que o engenheiro de produção enfrenta no desenvolvimento de um sistema automotivo que atenda as normas de emissão de ruído impostas por lei. O trabalho apresenta um estudo de caso, em que um problema de ruído é analisado e resolvido permitindo assim a adequação do projeto às leis vigentes.

A preocupação ambiental ocupa cada vez mais espaço na sociedade, um dos temas constantemente discutido são as emissões produzidas por veículos automotores, entre elas a emissão de ruído. De acordo com Genuit (2004) a qualidade sonora dos veículos tornou-se uma tarefa muito importante para os engenheiros de acústica há mais de 20 anos, como os veículos têm se tornado cada vez mais silenciosos, a sensibilidade para o conforto acústico também aumenta. Um dos ruídos mais perceptíveis dos veículos automotores é o ruído produzido pela combustão que ocorre no motor.

O objetivo deste trabalho é reduzir os ruídos emitidos por um veículo comercial equipado com motor a Diesel pela implementação de tecnologias no projeto do silencioso do sistema de exaustão. Para isso, foi pesquisado primeiramente o material bibliográfico e foram descritos os meios de atenuação de ruído utilizados em sistemas de exaustão. Para atestar a eficiência das alterações de projeto propostas foram realizados ensaios práticos conforme as normas ABNT NBR 15145:2004, ABNT NBR 9714:2000.

Este trabalho está dividido em: Introdução; métodos de pesquisa; sistemas de exaustão de veículos automotores; meios de atenuação de ruído em sistemas de exaustão; estudo de caso e; conclusões.

## 2. Métodos de pesquisa

A revisão de literatura foi iniciada por uma pesquisa bibliográfica em bases de dados que constam no Portal de Periódicos Capes, onde foram selecionados artigos de conteúdo livre encontrados com a utilização dos termos “*muffler*”, “*diesel engine*”, “*noise reduction*”. Foram consultadas também as normas regulamentadoras seguidas nos testes práticos. Após a pesquisa bibliográfica foi feito ensaio em laboratório, que foi o experimento de redução de ruído. O silencioso estudado foi então testado no veículo em um campo de provas, realizando medições de ruído em aceleração e medição de ruído na condição de parado.

### 3. Sistemas de exaustão de veículos automotores

Wall (2003) destaca que o sistema de exaustão era usado originalmente para silenciar o ruído causado pela alta pressão de gases que deixam o motor e para transportar esses gases quentes e tóxicos para longe do habitáculo do motorista, atualmente o sistema de exaustão também auxilia na combustão e controle de emissões. A parte desse sistema responsável por diminuir o ruído do motor é chamada de silencioso, que foi o objeto de estudo deste trabalho.

O ruído emitido ao final do sistema de exaustão tem duas origens: pulsos de pressão gerados pela carga e descarga periódica que se propagam para a abertura final do duto de exaustão e pelo fluxo de gás no sistema que gera turbulências e vórtices em descontinuidades geométricas (KUMAR, 2007).

Segundo Munjal (1987) um silencioso, ou abafador, pode ser descrito como qualquer seção de duto ou tubo que foi formado ou tratado com a intenção de reduzir a transmissão de som, enquanto, ao mesmo tempo, permite a livre circulação de gás.

Os ensaios acústicos pelos quais os veículos automotores devem passar antes de seu lançamento no mercado brasileiro são regidos pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 9714:2000 e ABNT NBR 15145:2004.

#### 3.1. Medição de ruído na condição parado

A ABNT NBR 9714:2000 Veículo rodoviário automotor – Ruído emitido na condição parado “prescreve um método de ensaio para medição do ruído emitido nas proximidades do sistema de escapamento por veículos rodoviários automotores conforme definidos pela NBR 6067, na condição de parado, em um local de fácil obtenção de características específicas” (ABNT, 2000. p.1).

Este ensaio utiliza um microfone calibrado e deve ser realizado sobre uma superfície de alta refletividade acústica como concreto, asfalto ou superfície equivalente. Não deve haver nenhum obstáculo num raio de 3 m do microfone. A velocidade do vento no momento do teste não deve exceder 5 m/s e o ruído de fundo precisa ser no mínimo 10 dB menor do que os níveis medidos durante o ensaio. (ABNT, 2000)

São realizadas no mínimo 3 medições e para que sejam consideradas válidas, não podem apresentar diferença maior do que 2 dB. O motor deve estar em temperatura normal de trabalho e a alavanca de mudanças posicionada na posição neutra (ABNT, 2000).

O microfone deve ser posicionado no sentido do orifício de saída dos gases a uma distância de 0,5 m do mesmo. A velocidade angular do motor no momento dos testes deve ser estabilizada no valor obtido pela equação  $3N/4$ , onde N é a velocidade angular de potência máxima do motor estabelecida pelo fabricante. (ABNT, 2000).

Os limites máximos de ruído para veículos automotores na condição parado estão estabelecidos na Resolução CONAMA N°418 de 2009, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Limites máximos de ruído emitidos por veículos automotores na condição parado

Categoria	Posição do Motor	Nível de Ruído dB (A)
Veículo de passageiros até nove lugares e veículos de uso misto derivado de automóvel	Dianteiro	95
	Traseiro	103
Veículo de passageiros com mais de nove lugares, veículos de carga ou de tração, veículo de uso misto não derivados de automóvel e PBT até 3.500 kg	Dianteiro	95
	Traseiro	103
Veículo de passageiros ou uso misto com mais de 9 lugares e PBT até 3.500 kg	Dianteiro	92
	Traseiro e entre eixos	98
Veículo de carga ou de tração com PBT acima de 3.500 kg	Todos	101
Motocicletas, motonetas, ciclomotores, bicicletas com motor auxiliar e veículo assemelhados	Todos	99

Fonte: Comissão Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2009)

### 3.2. Medição de ruído em aceleração

A medição de ruído em aceleração é regida no Brasil pela norma NBR 15145:2004 Acústica – Medição do ruído emitido por veículos rodoviários automotores em aceleração – Método de engenharia. Ela está baseada em um ensaio com veículos em movimento e especifica um método de engenharia para medição de ruído emitido. As medições devem ser relacionadas às

condições operacionais do veículo que proporcionem o mais alto nível de ruído que possa ocorrer durante a direção urbana e que levem a uma emissão de ruído reprodutível.

A ABNT NBR 15145 (2004) instrui que o método de ensaio exige um ambiente acústico que somente pode ser obtido num extenso espaço aberto, o local de ensaio deve ser substancialmente nivelado e a superfície da pista deve estar seca e possuir textura que não cause ruído excessivo dos pneus. A temperatura ambiente deve estar entre 0°C e 40°C, o vento não deve exceder a velocidade de 5 m/s durante a realização dos testes e o ruído de fundo precisa estar pelo menos 10 dB abaixo das emissões produzidas pelo veículo ensaiado.

Os limites máximos de ruído para veículos automotores estão estabelecidos na Resolução CONAMA N°272 de 2000, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Limites máximos de emissão de ruído para veículos automotores

CATEGORIA		NÍVEL DE RUÍDO - dB(A)		
DESCRIÇÃO		OTTO	DIESEL	
			Injeção	
			Direta	Indireta
a	Veículo de passageiros até nove lugares	74	75	74
b	Veículo de passageiros com mais de nove lugares	76	77	76
	Veículo de carga ou de tração e veículo de uso misto	77	78	77
c	Veículo de passageiro ou de uso misto com PBT maior que 3.500 kg	Potência máxima menor que 150kW (204 cv)	78	78
		Potência máxima igual ou superior a 150kW (204 cv)	80	80
d	Veículo de carga ou de tração com PBT maior que 3.500 kg	Potência máxima menor que 75 kW (102 cv)	77	77
		Potência máxima entre 75 kW (102 cv) e 150 kW (204 cv)	78	78
		Potência máxima igual ou superior a 150kW (204 cv)	80	80

Fonte: Comissão Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2000)

Se o nível sonoro do veículo ensaiado não exceder mais de 1 dB(A) dos valores limites estabelecidos, o modelo do veículo será considerado em conformidade com as prescrições

resolução. Caso isso não aconteça, devem ser testados mais dois veículos do mesmo modelo. Se o segundo ou o terceiro veículo exceder o limite estabelecido em mais de 1 dB(A) o modelo de veículo será considerado em desconformidade e o fabricante deverá tomar as medidas necessárias para restabelecer a sua conformidade (CONAMA, 2000).

#### **4. Meios de atenuação de ruído em sistemas de exaustão**

Pela pesquisa de Pasqual (2005) a atenuação de ruídos pode ser feita através de dois meios distintos: atenuadores reativos e atenuadores dissipativos. Os atenuadores dissipativos utilizam material acústico em seu interior e convertem a energia sonora em energia térmica, já os atenuadores reativos trabalham com a reflexão das ondas sonoras através de sua geometria específica.

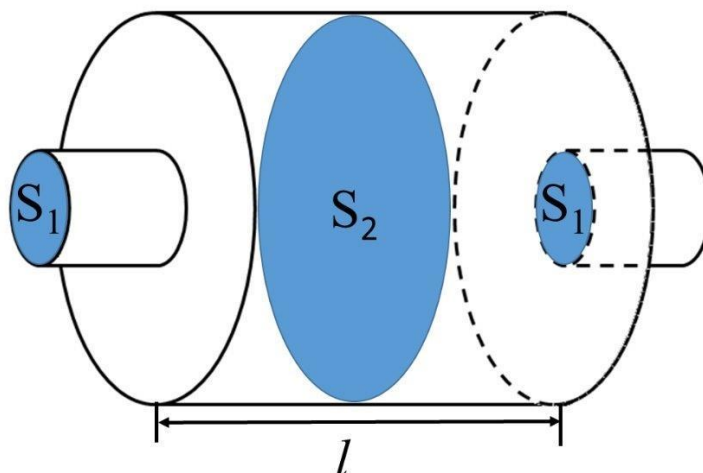
Os atenuadores reativos possuem variações bruscas nas seções internas e no direcionamento do fluxo, isso faz com que a energia acústica seja quebrada pelo má combinação de impedância com a fonte, pois parte da energia da fonte é refletida de volta reduzindo a potência do som transmitido (BRAGA, 2003).

##### **4.1. Câmara de expansão**

Uma câmara de expansão é um tipo de atenuador reativo, como explica Pasqual (2005). Os atenuadores reativos caracterizam-se por não provocarem perda de energia sonora. A redução dos níveis de ruído ocorre devido à reflexão sonora, sendo esta propiciada por mudanças na geometria dos dutos. Tais dispositivos são encontrados em praticamente todos os sistemas de exaustão de motores de combustão interna, existentes atualmente.

Para Munjal (1987), o silencioso mais simples que existe é uma câmara de expansão simples. Conforme ilustrado na Figura 1, ela tem um comprimento determinado  $l$  e duas mudanças abruptas nas áreas de seção ( $S1$  para  $S2$ ), uma ao final do tubo de entrada e outra ao final da câmara propriamente dita ( $S2$  para  $S1$ ).

Figura 1 - Esquema de uma câmara de expansão simples



Como explica Potente (2005), a expansão e a contração súbita do diâmetro nesse tipo de silencioso causa a reflexão contrária das ondas sonoras interferindo ou atenuando o avanço das mesmas. As câmaras de expansão são eficientes na atenuação de som de baixa frequência, por isso elas são ideais para aplicações automotivas. Quanto maior for a taxa de expansão, maior será a perda de transmissão de ruído. O comprimento da câmara deve ser pelo menos 1,5 o diâmetro dela.

#### 4.2. Tubos perfurados

Conforme Saf e Erol (2010), tubos perfurados são utilizados como elementos primários em silenciosos que devem ter um alto nível de atenuação de ruído em um determinado volume. Elementos de tubos perfurados são combinados com outros elementos em série ou em paralelo. Em uma variedade de silenciosos comerciais combinados, tubos perfurados servem para gerar fluxo cruzado, fluxo de choque e superfície de dissipação.

Ao se comparar tubos perfurados com câmaras de expansão, eles geram menos contrapressão, pois há menos turbulência criada.

#### 4.3. Ressonador de Helmholtz

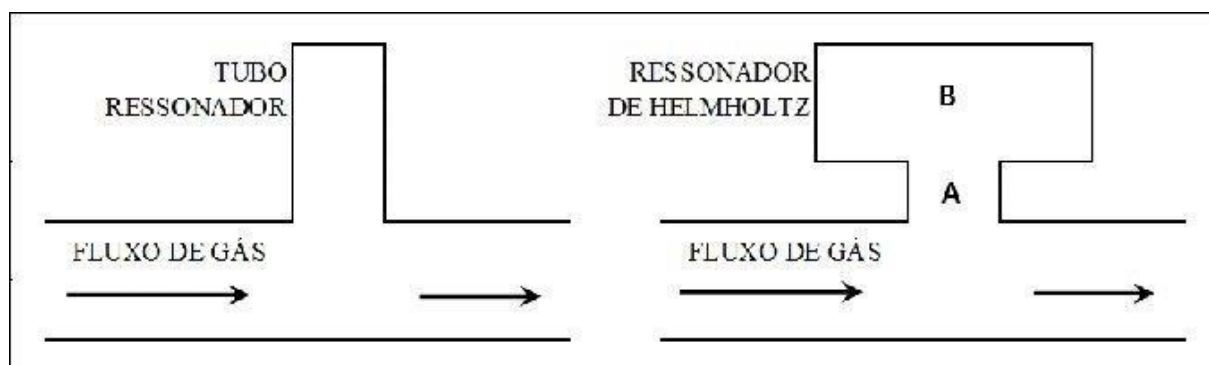
Assim como as câmaras de expansão os ressonadores são atenuadores reativos. Pelo exposto por Potente (2005), um tubo ressonador, como demonstrado na Figura 4, é um dispositivo atenuador usado para tons puros de frequência constante. Ele geralmente tem a forma de um pequeno tubo com comprimento aproximadamente igual a um quarto do comprimento de onda a ser controlada. Um ressonador Helmholtz é semelhante a um tubo ressonador, a única

diferença é que existe um volume maior conectado a sua entrada. A maior desvantagem dos ressonadores é que são eficazes somente em uma faixa de frequência pequena, quando várias frequências precisam ser atenuadas são necessários vários ressonadores. Essa desvantagem é reafirmada por Munjal (2013).

O desenvolvimento de silenciosos automotivos requer dispositivos que reduzam bandas largas de frequência. A ação de um ressonador de Helmholtz acontece em uma banda estreita. Em um gráfico de redução de ruído em dB(A) em função da frequência do ruído em Herz, a adição de um ressonador de Helmholtz forma um pico agudo enquanto o que se busca é uma ação que forme algo como um domo ou cúpula.

Pela explicação de Lupea (2012) o ressonador de Helmholtz é um sistema acústico simples, onde o ar que preenche o sistema está inicialmente sob pressão atmosférica, depois de uma pequena excitação de pressão do exterior o ar que preenche o pescoço do ressonador (Figura 2 A) move-se para dentro e para fora, o ar que preenche a câmara (Figura 2 B) é submetido a pressões aumentadas e diminuídas atuando como uma mola. O ar que preenche o pescoço atua como uma massa incompressível movendo-se para fora e para dentro do pescoço. Esse efeito tem sido usado recentemente na construção de sistemas de controle de ruído.

Figura 2 - Esquema de tubos ressonadores



#### 4.4. Materiais porosos para dissipação acústica

Como enfatiza Potente (2005), os materiais porosos utilizados para reduzir ruído tem ação dissipativa da energia sonora, quando as ondas sonoras passam por um meio poroso elas perdem energia. Dessa maneira o material poroso, tem capacidade de absorver o som transformando a energia cinética das partículas que estão flutuando em calor, por isso a adição de material poroso dentro de câmaras de expansão pode aumentar a capacidade de atenuação



sem aumentar o volume do silencioso Outra vantagem apontada por Potente (2005) é que a contra pressão é pouco afetada pela com o uso de material absorvivo.

Esses materiais porosos são compostos por duas fases: a sólida, constituída geralmente por fibras, que forma o esqueleto, e a fase fluida contida no interior dos poros. A conversão da energia ocorre pela interação dessas fases em meios viscosos (associados às camadas de contorno viscosas criadas pelo cisalhamento do fluido em regiões próximas a superfície das fibras); meios térmicos (que se relacionam com as camadas de contorno térmicas originadas pelos fluxos de calor irreversíveis que ocorrem entre o fluido e as fibras) e por meios estruturais que se referem às perdas associadas à flexão das fibras que formam a estrutura (MAREZE, 2009).

## **5. Estudo de caso**

O estudo de caso foi feito em um silencioso a ser utilizado em um veículo de carga extra pesado com potência informada de 480 cavalos. O modelo de veículo, bem como a montadora que utiliza o silencioso não são divulgados neste trabalho para evitar que informações sigilosas sejam transmitidas sem o consentimento da empresa que o desenvolveu.

O modelo de silencioso que serviu de base para o desenvolvimento utilizava câmaras de expansão, para reduzir ruído de baixa frequência e mantas de absorção para altas frequências. O primeiro protótipo foi fabricado seguindo as mesmas características.

### **5.1. Medição de ruído na condição parado**

Conforme as instruções da norma ABNT NBR 9714:2000 foi executada a medição de ruído na condição de parado. Nesta medição, com o microfone posicionado a distância de 50 cm da saída do escapamento com o veículo parado, foram registrados 91 dB(A), o que significa 10 dB(A) abaixo do limite estipulado na resolução do Resolução CONAMA N°418 de 2009 que é de 101 dB(A). Portanto nessa medição o veículo estaria aprovado.

### **5.2. Medição de ruído em aceleração**

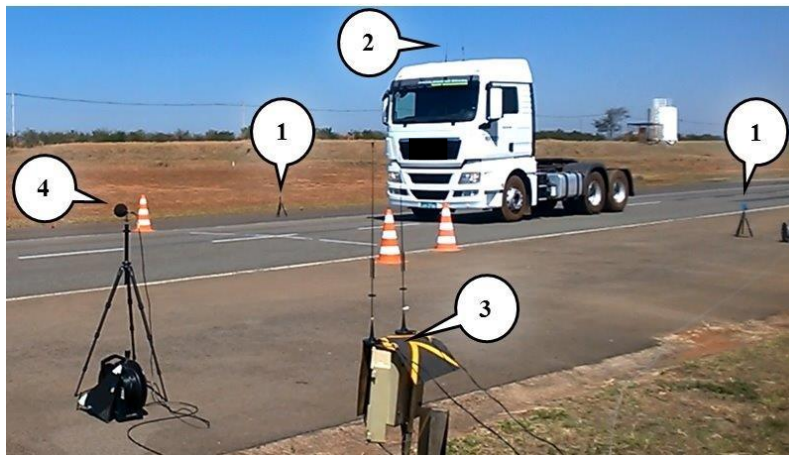
As medições de ruído em aceleração foram feitas em uma pista dedicada a ensaios automotivos e foram seguidas as instruções da norma NBR 15145:2004.

Durante o ensaio são registradas a velocidade do veículo e a velocidade angular do motor no momento em que ele entra e sai do intervalo de medição, para facilitar esse trabalho, diversos sensores são conectados a um computador com um software específico para este tipo de medição, são eles:

- a) Sensores de fotocélula: posicionados para identificar o momento em que o veículo entra e sai no intervalo de medição;
- b) Sensor de velocidade do veículo: fixo ao veículo, transmite os dados para a antena ao lado da pista;
- c) Sensor de velocidade do motor: fixo à carcaça do motor, ele identifica a rotação do motor e transmite para a antena ao lado da pista;
- d) Microfone nos dois lados da pista: o veículo deve passar no meio, equidistante aos dois microfones para que seja obtida uma medição aceitável.

A Figura 3 ilustra a entrada do veículo na zona de medição de ruído em aceleração, devidamente instrumentado.

Figura 3 - Veículo na entrada da zona de medição. Sensores de fotocélula (1); Antenas de emissão dos sensores de velocidade (2); Antena receptoras (3); Microfone lado esquerdo (4).



A Figura 4 apresenta o veículo no final da zona de medição. Quando o veículo está nesse ponto, o ruído captado pelos microfones está reduzindo pois o veículo está se afastando. A medição é encerrada quando o sensor de fotocélula detecta o caminhão. A distância entre o sensor de fotocélula e o cone equivale ao comprimento do caminhão. Em cada marcha selecionada o veículo realiza o percurso no mínimo 4 vezes.

Figura 4- Veículo no final da zona de medição. Microfone no lado direito da pista (5); Sensores de fotocélula (6).



O resultado obtido na medição ficou apenas 0,1 dB(A) abaixo do limite máximo previsto na Resolução CONAMA N°272 de 2000, que é de 80,0 dB(A). Ficou acordado entre montadora e fabricante do silencioso, que o ruído emitido estava demasiadamente próximo do permitido e deveria ser melhorado.

### 5.3. Sugestão de melhoria: correção da densidade do material acústico

Há dois tipos de material acústico utilizados no silencioso, o Silentex® e a lã de basalto. O Silentex®, segundo o fabricante Owens Corning (2008), é um compósito formado por filamentos contínuos de fibra de vidro para preencher câmaras de absorção, ele é mais eficaz, mais ecológico, mais leve, tem boa resistência e ajustasse muito bem mesmo em geometrias complexas sendo um excelente substituto para lã de basalto. O Silentex® pode ser fornecido texturizado em mechas dentro de sacos plásticos conforme a necessidade do cliente, a Figura 5 ilustra a condição em que o material é fornecido.

Figura 5 - Silentex® texturizado em mechas embalado em sacos



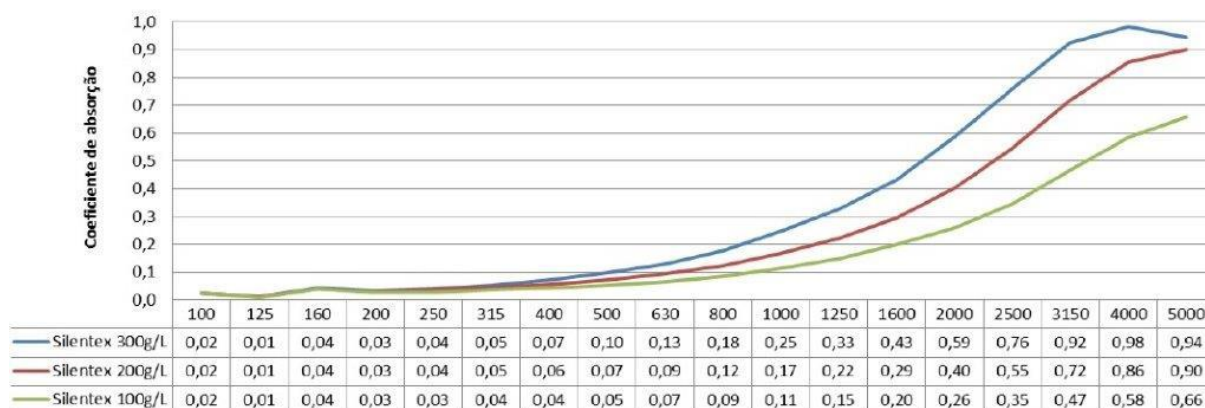
Fonte: Owens Corning (2008)

Para alterar a densidade do Silentex® basta utilizar um saco com mais material. Na montagem do protótipo verificou-se que a densidade máxima a ser usada neste silencioso era de 300 g/L. Foram preparados corpos de prova com as densidades de 100 g/L, 200 g/L e 300 g/L com espessura de 12 mm. Foram realizados ensaios laboratoriais conforme norma ASTM E1050-10 para determinar o coeficiente de absorção acústica em cada densidade.

A norma ASTM E1050-10 estabelece um método utilizado para determinar os coeficientes de absorção acústica de materiais. O equipamento deste teste é composto por: um tubo circular ou retangular com um suporte para o corpo de prova em uma ponta e uma fonte sonora na outra, microfones montados em dois ou mais pontos na parede do tubo. Um sistema digital de análise de frequências com dois canais é usado para coletar e processar os dados. Ao final do teste é elaborado um relatório, que entre outras informações, contém uma relação de coeficientes de absorção em cada frequência (ASTM, 1010).

A relação entre o coeficiente de absorção em cada faixa de frequência sonora está demonstrada nos Gráficos 1 e 2. Quanto mais próximo de 1,0 estiver o coeficiente de absorção, mais energia sonora é absorvida e conseqüentemente o ruído é reduzido, quanto mais próximo de zero menos ruído é reduzido, assim 1,0 significa absorção total e 0,0 significa nenhuma absorção.

Gráfico 1 - Resultado experimental - Coeficientes de absorção do Silentex

**Coeficiente de absorção do Silentex - 1/3 oitava**


No Gráfico 1 é possível perceber que com densidade de 300 g/L há uma absorção acústica melhor, essa melhora se inicia na frequência de 300 Hz e vai aumentando até a frequência de 4000 Hz.

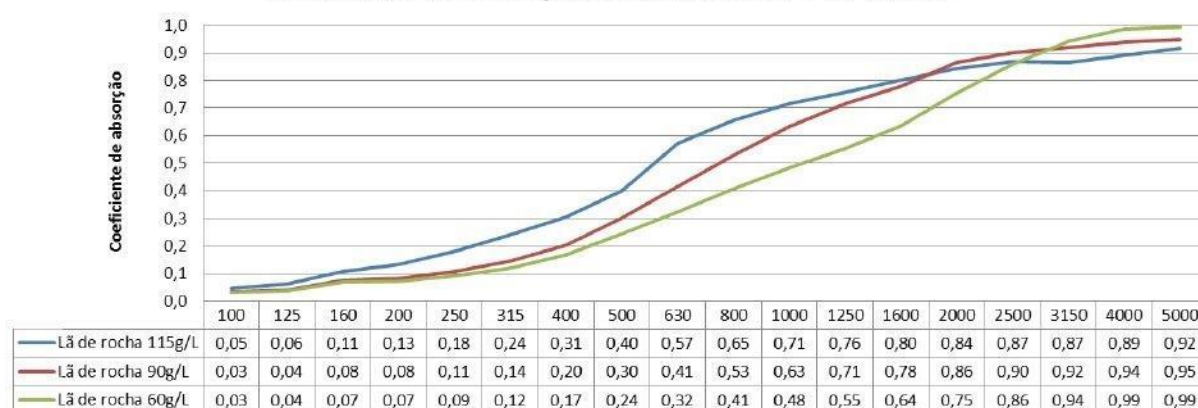
A lã de basalto, também chamada de lã de rocha, conforme explica Singha (2012), é um material poroso, produzido a partir de fibras de basalto extremamente finas, que são compostas pelos minerais plagioclásio, piroxênio, olivina. Esse material pode ser facilmente impregnado, além disso, apresenta alta estabilidade química, propriedades anticorrosivas e anti-chama. É um material barato com excelente isolamento acústica e térmica (SINGHA, 2012).

No projeto é utilizada uma placa de lã de rocha prensada, presa entre duas chapas metálicas, sendo uma delas perfurada para permitir o fluxo acústico. O máximo de densidade que o fornecedor tinha capacidade de produzir é 115 g/L. Foram preparados corpos de prova com as densidades de 60 g/L, 90 g/L e 115 g/L, todos com espessura de 35 mm e seguiu-se o mesmo procedimento adotado para determinação da densidade do Silentex®.

O Gráfico 2 mostra uma sensível melhora na absorção da amostra feita com 115 g/L, desde a frequência de 100 Hz, que vai se ampliando até os 1600 Hz.

Gráfico 2 - Resultado experimental - Coeficientes de absorção da lã de basalto

### Coefficiente de absorção da lã de rocha - 1/3 oitava



As amostras de Silentex® foram feitas com 12 mm de espessura e as de lã de basalto com 35 mm de espessura pois esta é a espessura aplicada na peça. O Silentex® preenche um volume de aproximadamente 1 litro em uma câmara ao redor de um tubo perfurado, enquanto a lã de basalto fica presa entre duas chapas metálicas, ocupando aproximadamente 7 litros do volume do silencioso, o custo da lã de basalto é menor do que o Silentex®, e por isso são usados os dois materiais combinados.

#### 5.4. Nova medição de ruído em aceleração

Com a definição das melhores densidades aplicáveis de Silentex® (300 g/L) e lã de basalto (115 g/L), para o projeto, foi construído um novo protótipo.

O protótipo foi montado em um caminhão e testado em um campo de provas, novamente foram seguidas as instruções da norma NBR 15145:2004.

O teste foi realizado com condições meteorológicas próximas às da primeira vez, para comparar a peça anterior e a melhorada nas mesmas condições. O resultado obtido foi 0,4 dB(A) abaixo do limite máximo previsto em norma que é de 80,0 dB(A).

A melhoria de 0,3 dB(A) é bem menor do que os 2 dB(A) estimados pela simulação, mas é importante lembrar o ruído em aceleração não é resultado somente do ruído que sai do sistema de exaustão, mas de todo o veículo. O resultado satisfaz às expectativas e a melhoria foi aceita pela montadora aprovando o projeto.

## 6. Conclusões

O protótipo contendo maior densidade de material acústico, conforme proposta feita neste trabalho atendeu às expectativas da montadora e o silencioso foi aprovado, comprovando o sucesso do trabalho.

Os objetivos propostos foram atingidos, pois a redução de 0,3 dB(A) permitiu que o projeto do silencioso fosse aprovado pelo cliente, atendendo as normas de emissão de ruído vigentes. A realização deste objetivo foi possível através do estudo do material bibliográfico reunido, que em combinação com experimentos práticos, possibilitou a sugestão de melhoria no projeto do silencioso. A melhoria aplicada demonstrou a eficácia dos meios de atenuação de ruído estudados e utilizados.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **E 1050 Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones and a digital frequency analysis**. ASTM International. West Conshohocken, United States, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9714: Veículo rodoviário automotor – Ruído emitido na condição parado**. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15145: acústica – medição do ruído emitido por veículos rodoviários automotores em aceleração – método de engenharia**. Rio de Janeiro, 2004.
- BRAGA, M. S. Modelagem Numérica e Ensaio Experimental do Silenciador de um Veículo, Florianópolis, **Tese (Mestrado)**, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. 104 p.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA n°272**. Brasília, 2000.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA n°418**. Brasília, 2009.
- GENUIT, K. The sound quality of vehicle interior noise: a challenge for the NVH-engineers. **International Journal Vehicle Noise and Vibration**, v.1, n.1/2, pp.158-168, 2004.
- KUMAR, S. Linear acoustic modelling and testing of exhaust mufflers, **Master of Science Thesis**, Stockholm, Royal Institute of Technology, 2007.
- LUPEA, I. Considerations on the Helmholtz Resonator – Simulation and Experiment **Proceedings of the Romanian Academy**, v.13, n.2, pp. 118-124, 2012.
- MAREZE, P. H. Aplicação de Tubos Ressonantes para Atenuação Sonora de Cavidades e Filtros Acústicos, Florianópolis, **Tese (Mestrado)**, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. 128 p.
- MUNJAL. M. L.. **Acoustics of Ducts and Mufflers**. Wiley-Interscience, New York: 1987.
- MUNJAL, M. L.; Recent Advances in Muffler Acoustics. **International Journal of Acoustics and Vibration**, v.18, n. 2, pp.71-85, 2013.
- OWENS CORNING COMPOSITE MATERIALS. **Silentex® A Lifetime of Exceptional Acoustic Performance**. Ohio, 2008.

PASQUAL, A. M. Análise de sistemas reativos para controle de ruído em dutos pelo método dos elementos finitos. Belo Horizonte, **Dissertação (Mestrado)** Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

POTENTE, D. General Design Principles for an Automotive Muffler. **Proceedings of Acoustics 2005**, Busselton, Australia: 2005.

SAF, O.; EROL, H. On Acoustics and Flow Behaviour of the Perforated Mufflers. **The 17th International Congress on Sound and Vibration**. Cairo, 2010.

SINGHA, K. A Short Review on Basalt Fiber. **International Journal of Textile Science**. v.1, n.3, p.19-28, 2012.

WALL, J. **Dynamics Study of an Automobile Exhaust System**. Karlskrona, Suécia: Kaserntryckeriet AB, 2003.