

ANÁLISE DE RUÍDO EM CABINA AGRÍCOLA PARA TRATOR

ANALYSIS OF NOISE IN AGRICULTURAL CABIN FOR TRACTOR

Felipe Dorneles Zulian¹; Leandro Dóro Tagliari²; Guilherme Regner Nava³; Leonardo Castilhos de Oliveira⁴; Cristian Bicigo⁵.

Universidade de Passo Fundo – UPF; BR 285- São José, Passo Fundo/RS -99052-900

¹Graduando em Engenharia Mecânica - UPF, E-mail: 99937@upf.br

²Mestre em Engenharia Mecânica; Docente Curso de Eng. Mecânica-UPF, E-mail: leandrotagliari@upf.br

³Graduando em Engenharia Mecânica - UPF, E-mail: 142726@upf.br

⁴Graduado em Engenharia Mecânica - UPF, E-mail: 138283@upf.br

⁵Graduando em Engenharia Mecânica - UPF, E-mail: 127525@upf.br

RESUMO

O ruído é um som desagradável e indesejável que, dependendo do seu nível de intensidade, traz problemas a audição do ser humano. Se o seu nível for muito elevado pode trazer sérias consequências ao aparelho auditivo. Este trabalho tem por objetivo fazer um estudo sobre ruído e pesquisar materiais já existentes que tratem de reduzir o ruído em máquinas ou equipamentos. Fazer uma análise de ruído em cabina agrícola para tratores com o intuito de verificar se a cabina está de acordo com a NR 15 anexo 1. Foram feitos testes com material diferente e avaliada a acústica deste material, a redução do ruído foi baseada no isolamento da cabina. Para os ensaios foi usado a NBR 6394 e 6393. Todas as medições que foram realizadas deram acima do limite mínimo de 85 dB que a NR 15 anexo 1 considera sem o uso de protetores auriculares. Exceto a fase 2.4 que é o teste com o material EVA 1110, que deu abaixo do limite mínimo, portanto o operador pode trabalhar 8 horas diárias sem o uso de protetores auriculares. Este novo material foi satisfatório e deu o resultado que se esperava no intuito de melhorar a isolamento em cabinas agrícolas para trator.

Palavras Chave: Ruído. Isolamento. Cabina. Trator. Acústica.

ABSTRACT

Noise is an unpleasant and undesirable sound that, depending on its level of intensity, brings problems to human hearing. If its shows enough intensity, it can bring serious consequences to a human's auditory system. The goal of this paper is to produce a study on noise and to develop research on existing materials that reduce noise in machinery or equipment. Also, it is intended to make a noise analysis in tractor cabins in order to verify if the cabin is in accordance to the NR 15 annex 1. Tests with a different material have been done and the acoustic performance of this material was evaluated, the noise reduction was based on the isolation of the cabin. For the tests, NBR 6394 and 6393 were used. In all of the measurements that were performed, they showed results above the minimum limit of 85 dB that the NR 15 annex 1 considers that a human can work in without the necessity of the usage of hearing protectors. Except for phase 2.4 which is the test with the material EVA 1110, which showed its performance below the minimum limit, therefore, the operator is able work 8 hours daily without the usage of hearing protectors. This new material was satisfactory and delivered the expected result.

Keywords: Noise. Isolation. Cabin. Tractor. Acoustics.

1 INTRODUÇÃO

O estudo de várias normas foi realizado para definir as utilizadas nesta pesquisa às quais são: NR 15, NBR ISO 6393 e NBR ISO 6394, estas três serão utilizadas neste trabalho. Além destas foram analisadas as seguintes normas: ABNT NBR 15 145:2004 - Acústica – Medição de ruído emitido por veículos rodoviários automotores em aceleração – Método de engenharia, ABNT NBR ISO 6395: 2011 – Máquinas rodoviárias – Determinação do nível de potência sonora – Condições de ensaio dinâmico , ABNT NBR 9405: 1986 está cancelada – Determinação do ponto de referência de assento (PRA) de tratores e de máquinas agrícolas autopropelidas - Procedimento, ABNT NBR 9714: 2000 – Veículo rodoviário automotor – Ruído emitido na condição parado, ABNT NBR ISO 6396:2011 – Máquinas

rodoviárias – Determinação do nível de emissão de pressão sonora na posição do operador – Condições de ensaio dinâmico.

Primeiramente foi realizado uma caracterização do trator original de fábrica para se definir qual método e projeto as montadoras estão utilizando hoje. Um estudo detalhado sobre ruído, seus efeitos e medidas de controle bem como algumas definições básicas para o entendimento do assunto, como por exemplo, as três grandes partes do aparelho auditivo, alguns conceitos como Decibel, Nível de pressão sonora, instrumento de medição, classificação do ruído, entre outros que são pertinentes para este trabalho. Segundo Saliba (2011), ocorrem oscilações dos sistemas materiais elásticos com a massa, estas oscilações podem resultar em estímulos para o organismo humano, que em certas condições podem provocar respostas causando sensações de bem ou mal-estar e até mesmo problemas.

Foram pesquisados outros tipos de materiais para fazer o teste de isolamento para uma maior absorção do ruído, pois a cabina encontra-se com nível de ruído acima de 85 dB. A NR 15 anexo 1 considera que abaixo deste valor não há necessidade de uso de protetores auriculares. A redução do ruído foi baseada no isolamento da cabina. Em todas as medições feitas, os valores deram acima de 85 dB, portanto deveria ser indicado o uso de protetores auriculares. Exceto no material EVA 1110 que foi selecionado para o teste, este foi o material que deu abaixo de 85 dB, portanto o operador pode trabalhar 8 horas diárias sem o uso de protetores auriculares, assim tendo maior conforto.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os temas pertinentes ao trabalho, objetivando adquirir conhecimento sobre tecnologias inovadoras.

2.1. Cabina Agrícola do Trator

Foi realizado a visita técnica em duas concessionárias de tratores Agrícolas, na Augustin revenda Massey Ferguson e Lavoro revenda John Deere. Observaram-se nos estudos realizados as formas de isolamento das cabinas nos tratores agrícolas. Estas cabinas originais de fábrica causam menos ruído do que as cabinas paralelas devido a sua forma construtiva e o tipo de material usado como acabamento e isolamento interno. Identifica-se na Figura 1 uma cabina original de fábrica à direita e um trator sem cabina à esquerda, os dois modelos da série 4292.



Figura - 1: Trator sem cabina e com cabina da marca Massey Ferguson. (Fonte: Massey Ferguson, 2016)

Comparando os dois modelos pode-se observar que na cabina original de fábrica o painel é mais alto e com isolamento diferenciada para a absorção do ruído.

A vantagem de se utilizar uma cabina original de fábrica em relação a uma cabina adaptada é que a cabina original de fábrica causa menos ruído, as alavancas dos comandos ficam mais perto do operador, painel diferenciado possibilitando uma melhor visibilidade. A Figura 2 mostra a isolamento interna de uma cabina original de fábrica da marca Massey Ferguson.

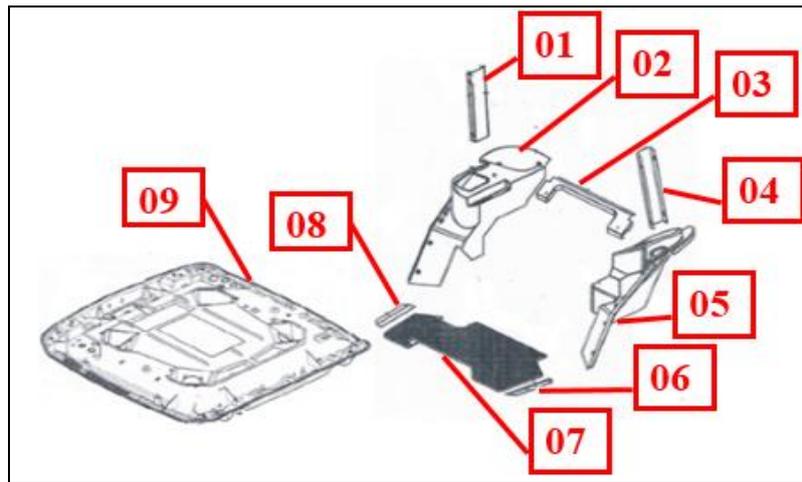


Figura - 2: Revestimentos internos cabina Massey Ferguson. (Fonte: Massey Ferguson, 2016.)

O item 1 é o revestimento da coluna do lado direito, 2-revestimento do para-lama lado direito, 3-revestimento traseiro, 4-revestimento da coluna lado esquerdo, 5- revestimento para-lama lado esquerdo, 6-soleira lado esquerdo, 7-tapete, 8-soleira lado direito, 9-forro interno. Estes são os principais revestimentos para esta marca.

2.2. *Aparelho Auditivo Humano*

O ouvido humano pode ser separado em três grandes partes de acordo com a função desempenhada e a localização, são elas: ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno. Na Figura 3 podemos observar o fluxograma.

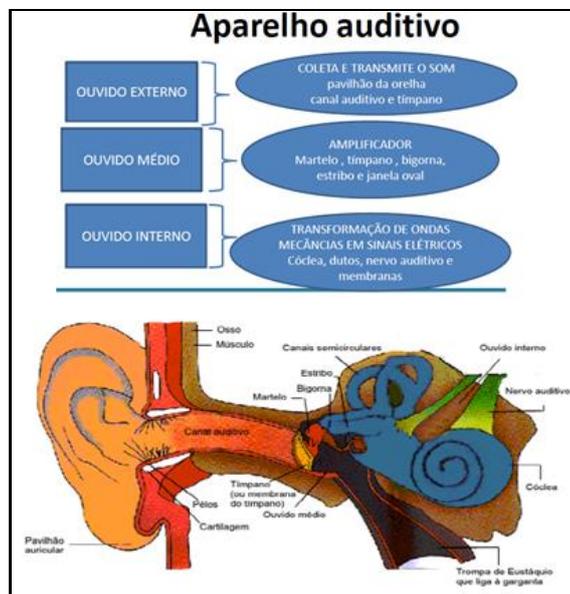


Figura 3: Fluxograma. (Fonte: Lanza, Maria Beatriz de Freitas, 2016.)

O ouvido externo coleta e transmite o som, o ouvido médio é um amplificador e no interno ocorre a transformação de ondas mecânicas em sinais elétricos (LANZA, 2016).

Esta imagem também demonstra onde estão localizados no aparelho auditivo humano o ouvido externo, ouvido médio e o ouvido interno.

2.3 O Decibel

Para a medição do som, adotou-se uma divisão de escala $\log 10$, à qual foi dado o nome de bel (B). 1 bel seria $\log 10$, 2 bel seria $\log 100$ e assim seria até 14 bel que representa o limiar da dor, $\log 10^4$. Mas o bel é uma unidade de escala muito grande para uma adequada mensuração de variações de intensidade sonora, em geral é usado o decibel (dB), que representa um décimo de bel. O limiar da audição seria expresso como 0 dB ($\log 1$), e assim comprimindo-se uma escala de milhões de unidades em apenas 140 dB. Um decibel é a menor variação que pode ser ouvida pelo ser Humano (MURGEL, 2007).

2.4 Nível de Pressão Sonora (NPS)

O aumento da sensação (percepção) é proporcional ao logaritmo do estímulo. Por exemplo, se uma sensação “S” é provocada por 10 unidades de estímulo, a sensação “2S” poderá ser provocada por 100 unidades de estímulo.

Pequenos aumentos de sensação requerem aumentos grandes de estímulos. Esta afirmação é uma aproximação que simplifica o complexo mecanismo de percepção sensorial. A avaliação dos níveis de pressão sonora é feita pela utilização da escala logarítmica.

A Tabela 1 mostra a pressão correspondente ao nível de pressão sonora, bem como as possíveis fontes geradoras (SALIBA, 2011).

Tabela 1: Pressão correspondente e possíveis fontes geradoras.

Nível de pressão Sonora em dB	Pressão sonora em N/m ²	Exemplos de fontes
0	0,00002	Limiar audibilidade-sussuro
6	0,00004	Deserto ou região polar (sem vento)
12	0,00008	
18	0,00016	Movimento de folhagem
24	0,00032	Estúdio de rádio e TV
30	0,00063	Quarto de dormir, teatro vazio
42	0,00251	Sala de aula
48	0,00501	Restaurante tranquilo
60	0,01995	Escritório com barulho médio, rádio com volume Médio
66	0,03981	Rua com barulho médio
72	0,07943	Pessoa falando a um metro
78	0,15849	Escritório barulhento
84	0,31623	Dentro da cabina de um caminhão com vidros abertos
90	0,63096	Banda ou orquestra sinfônica
96	1,25893	Indústria barulhenta
100	1,99526	Sala de compressores
110	6,30957	Próximo a um britador
120	19,95262	Avião a pistão a três metros – limiar da dor
140	199,52623	Avião a jato a um metro-perigo de ruptura do tímpano

Fonte: Saliba (2011), apud adaptação Bistafa, (2006).

2.5 Instrumento de Medição (Decibelímetro)

Para realizar a medição do nível de ruído se utiliza um aparelho chamado medidor de nível sonoro, popularmente conhecido como “decibelímetro ou sonômetro”. Um medidor básico de nível sonoro é composto por um microfone de precisão que transforma a vibração do ar (pressão acústica) em sinal elétrico. O sinal de pequena potência deve passar por um pré-amplificador linear e por um circuito de compensação (correções da escala A). Depois é novamente amplificado e sendo avaliada a sua

intensidade por meio de um sinal analógico ou digital gerado para indicação instantânea no mostrador ou é armazenado na memória para que o processador interno possa calcular os parâmetros que se deseja para fazer a avaliação. Em uma avaliação acústica devem-se escolher cuidadosamente os pontos de medição e os horários de amostragem que precisam representar a área de estudo e o fenômeno que se pretende avaliar. Os locais devem estar livres de interferências sonoras indesejáveis como, por exemplo, o latido de cães (MURGEL, 2007). A Figura 4 ilustra um decibelímetro.



Figura - 4: Decibelímetro. (Fonte: Lanza, Maria Beatriz de Freitas, 2016).

O decibelímetro é um aparelho de fácil manuseio e fácil aplicação, mas muito importante para a verificação de níveis de pressão sonora, ele mede na realidade são as variações de pressões atmosféricas que são causadas pelo som e posteriormente estes valores são convertidos em decibéis.

2.6 Sintomas do Ruído no Organismo

A descrição dos sintomas auditivos abrange experiências com zumbidos, dor nos ouvidos (sensibilidade ao ruído), perda auditiva, zumbido temporário. É problemático de como medir sintomas, como o zumbido por exemplo, que é feito por meio de autorrelato, pois muitas vezes essa é a única maneira de obter essa informação. Este fato tem a necessidade de conduzir estudos epidemiológicos com adolescentes expostos ao ruído em atividades de lazer. Uma pesquisa feita com adolescentes brasileiros, 69% relataram a prevalência do zumbido temporário, apenas um relatou zumbido permanente. As principais causas citadas foram: 45% depois de sair da discoteca, 27% depois de assistir a shows e 11% depois de ouvir músicas com fone de ouvido (MORATA; ZUCKI, 2010).

2.7 Medidas de Controle

As medidas de controle do ruído podem ser separadas em três maneiras: na fonte, na trajetória e no homem, devem ser prioritárias quando viáveis tecnicamente as medidas na fonte e na trajetória (SALIBA, 2011).

Quando há viabilidade técnica este é o método mais recomendado, esta medida deve ser adotada mais facilmente na fase de planejamento das instalações pois é possível organizar o *layout* e escolher equipamentos que produzam menores níveis de ruído.

Cada caso tem que ser cuidadosamente estudado, pois a medida tomada pode alterar o princípio de funcionamento das máquinas. Esta medida é mais eficaz quando feito pelo fabricante que deveria indicar o nível de ruído causado pela máquina. As alternativas para esta medida são (SALIBA, 2011):

- 1) Balancear e equilibrar partes móveis;
- 2) Reduzir impactos na medida do possível;

- 3) Substituir o equipamento por outro mais silencioso;
- 4) Lubrificar mancais e rolamentos;
- 5) Alterar o processo substituindo sistema pneumático por hidráulico;
- 6) A programação de operações deve ser feita de uma forma que permaneça o menor número de máquinas funcionando simultaneamente;
- 7) Aplicar material que atenuem as vibrações;
- 8) Reduzir a altura de queda de materiais nos receptores, exemplo a queda de minério em um silo;
- 9) Regular motores;
- 10) Absorver choques através de revestimentos de borracha nas estruturas;
- 11) Substituir engrenagens metálicas pelas de plástico;
- 12) Instalar abafador (silencioso) nos escapamentos;
- 13) Reduzir as rotações das máquinas, porém isto pode reduzir a capacidade produtiva;
- 14) Manter estruturas bem fixadas para diminuir vibrações;
- 15) Diminuir a velocidade de escapamento dos fluídos.

2.8 Absorção do Som

Quando o som encontra uma superfície a energia sonora é absorvida. Os melhores absorventes são a lã de vidro e a cortiça que são materiais porosos e fibrosos. Os coeficientes de absorção variam com as frequências do som, por isso deve-se analisar o ruído de forma adequada antes da escolha do material.

A finalidade desse procedimento é evitar reflexões múltiplas do som. Para a escolha do material é necessário saber do local, o nível de pressão sonora e seu espectro sonoro. A Tabela 2 mostra alguns coeficientes de absorção (SALIBA, 2011).

Tabela - 2: Coeficientes de absorção do som.

Material	Coeficiente de absorção %					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
Lã de rocha 80 kg – 100 mm	36	53	59	73	85	93
Tijolos brutos	33	33	33	44	55	77

Fonte: Saliba, (2011) apud Nepomuceno, (1977).

2.9 Isolamento Acústico

Consiste em evitar a transmissão do som de um local para outro, para isso é necessário utilizar materiais isolantes de som, devendo-se evitar frestas ou qualquer descontinuidade nas superfícies para não permitir a passagem de ar.

Com presença de frestas há uma grande influência no isolamento, podendo o isolamento ser na fonte ou no receptor. Isolar a fonte significa construir uma barreira separando a fonte de ruído do meio que o rodeia evitando assim, que o som se propague, por exemplo uma parede separando dois locais. Isolamento do receptor significa construir barreiras separando a fonte e o meio do indivíduo que está exposto ao ruído como por exemplo, cabina de um equipamento móvel (SALIBA, 2011).

O poder isolante de uma parede única é dada pelo seu peso superficial. O grau de isolamento de uma parede é representado pela capacidade de absorver ou impedir a passagem da vibração, propriedade que é indicada em (dB).

Quando tem-se uma divisória única, esta divisória possui uma frequência de ressonância na qual o poder de isolamento será menor nesta frequência. Na maioria dos casos de paredes simples, para altas frequências um aumento do peso e da rigidez aumenta o grau de isolamento (FUSCO, 1979).

No caso de duas paredes leves e que são separadas por um espaço de ar também produzem boas isolações, se distantes até 15 cm. Se colocar material absorvente no meio aumenta a isolação. As paredes duplas podem produzir um mesmo grau de isolação do que uma parede simples que pesa 5 a 10 vezes mais.

Para altas e baixas frequências as camadas grossas de material poroso são ótimos absorventes, por exemplo: fibra de vidro, lã mineral, espuma de borracha, espuma de poliuretano, material de fibra de madeira, feltro e metal sintetizado.

Espessuras pequenas absorvem apenas altas frequências, camadas mais grossas absorvem uma larga faixa de frequência que podem ser altas ou baixas (FUSCO, 1979).

2.10 Cálculo do Leq

O Leq é constituído da integração do nível sonoro medido, representa o ruído médio, ou seja, representa o nível sonoro que se fosse contínuo, equivaleria ao ruído medido (MURGEL, 2007). O Leq ($L_{pAeq,T}$) é determinado utilizando a equação 1 ou usando uma integração digital (equação 2) (NBR 6394, 2001).

$$L_{pAeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_o^2} dt \right] dB(A) \quad (1)$$

Onde:

T = é o período de medição, o período de tempo da máquina operada durante o ensaio;

$p_A(t)$ = é a pressão sonora instantânea ponderada em A do sinal acústico;

p_o = é a pressão sonora de referência (20µPa).

$$L_{pAeq,T} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{100} 10^{0,1 L_{pAi}} \right] dB(A) \quad (2)$$

Onde:

t_i = é o valor numérico da porcentagem de tempo para o nível de pressão sonora, do intervalo total de tempo T, do determinado ensaio, com a resolução para L_{pAi} sendo 1,0 dB(A) ou menos.

Este tempo é calculado dividindo o tempo de medição pelo tempo total das medições, e multiplicando por 100.

L_{pAi} = representa os valores dos níveis de pressão sonora ponderados em A.

2.11 Materiais que Absorvem Ruídos

Neste item descreve-se alguns materiais que absorvem ruído, bem como alguns dados técnicos que foram fornecidos pela empresa Ducom. O Quadro 1 mostra os materiais e suas principais características.

Referente aos materiais pesquisados, os três que apresentaram melhores características de absorver mais o ruído foram os seguintes: EPDM 200, que apresenta um isolamento acústico com redução de 30 a 70% proporcional a espessura, é retardante de chama e é isolante térmico.

O EVA 1110, possui isolamento acústico com redução de 25 a 80% proporcional a espessura, é retardante de chama e também é isolante térmico.

O material EVA D30 possui isolamento acústico com redução de 30 a 70% proporcional a espessura, é retardante de chama e também isolante térmico.

Segundo a empresa Ducom (2016) o material mais utilizado na aplicação agrícola é o EVA 1110 porque possui um preço intermediário, tem boa durabilidade, possui um bom isolamento acústico, é retardante de chama e possui isolamento térmico. Características estas que são ideais para um bom material.

Quadro - 1: Materiais e suas principais características.

Nº	MATERIAL	ISOLAMENTO ACÚSTICO PROPORCIONAL A ESPESSURA (%)	RETARDANTE DE CHAMA	ISOLAMENTO TÉRMICO
1	EVA ESTAMPA CROCO	20 a 50	NÃO	SIM
2	EVA ESTAMPA LOSÂNGO DECK	15 a 45	NÃO	SIM
3	EPDM 200	30 a 70	SIM	SIM
4	ESPUMA PU D60	10 a 30	SIM	NÃO
5	ESPUMA PU D20	10 a 20	SIM	NÃO
6	EVA 1110	25 a 80	SIM	SIM
7	ESPUMA PE FLEXÍVEL	10 a 30	SIM	NÃO
8	EVA RÍGIDO 2545	20 a 60	NÃO	SIM
9	EVA MACIO 1040	30 a 70	NÃO	SIM
10	EVA D30	30 a 70	SIM	SIM
11	PE ALUMINIZADO	30 a 60	SIM	SIM
12	ESPUMA PU D20 ALVEOLAR	60 a 80	SIM	NÃO

Fonte: Ducom, (2016).

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada foi dividida em etapas e fases conforme se descreve no fluxograma da Figura 5.

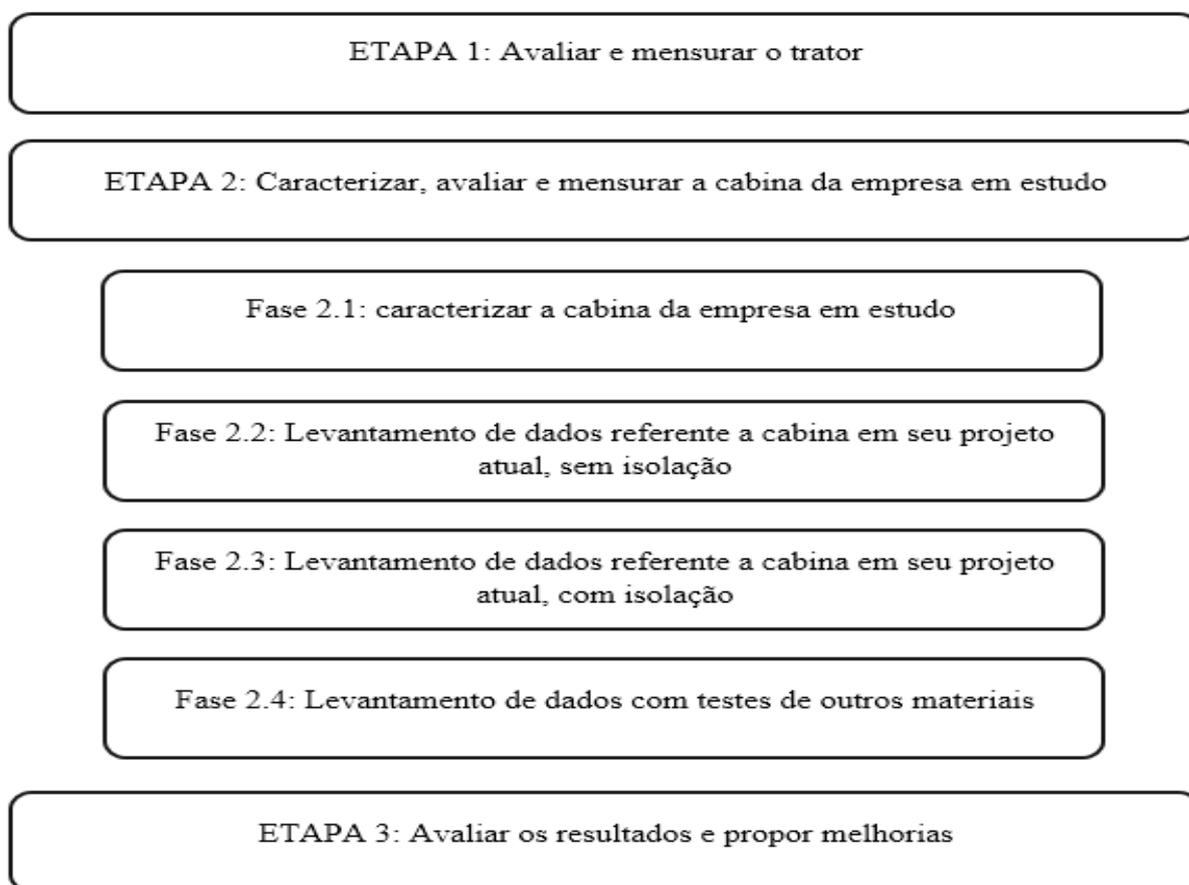


Figura - 5: Fluxograma metodológico. (Fonte: Autor, 2016).

As etapas e fases da metodologia descritas na Figura 5, auxiliaram para atingir os objetivos propostos na pesquisa e nortear o desenvolvimento dos resultados e melhorias obtidos ao final da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos, a classificação do ruído e algumas discussões pertinentes a respeito do resultado de dados.

Etapa 1: Avaliar e mensurar o trator

Inovação O trator utilizado neste ensaio será da marca Massey Ferguson, modelo 4265, 4275 compacto, conforme mostra a Figura 6.



Figura - 6: Modelo do trator que será ensaiado. (Fonte: <http://www.massey.com.br/produtos/tratores/serie-mf-4200-compacto>, 2016).

O trator possui como principais características:

- 1) Potência do motor na rotação nominal: 65 cv
- 2) Torque máximo no motor a 1400 rpm: 252 Nm
- 3) Rotação nominal do motor: 2200 rpm
- 4) Motor marca Perkins, modelo: 1104A-44
- 5) Combustível: Diesel
- 6) Número de cilindros: 4

Foi utilizado para a medição um equipamento chamado decibelímetro Instrutherm DEC 460, classe tipo 2. O aparelho será regulado na pressão sonora ponderado em A, o ambiente de ensaio conforme especificado na NBR 6393 será escolhido o plano refletor duro (concreto).

Segundo Junior (2016) concreto é um material de construção que resulta da mistura de um aglomerante neste caso o cimento, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e água em proporções exatas.

O operador estará sentado na posição de dirigir e ninguém estará próximo ou dentro da cabina junto com ele durante a medição. A roupa utilizada não absorve ruído de forma anormal, não utilizando cachecol ou chapéu.

O operador sentado terá uma altura de 800mm, da superfície do assento até a parte superior da cabeça. Este assento será regulado no ponto intermediário da sua regulagem horizontal e vertical. O microfone do aparelho de medição será orientado horizontalmente com a sua direção de referência conforme a especificação do fabricante, e estará apontando para a frente do trator.

Este microfone estará localizado a uma distância de 200 mm \pm 20 mm a partir do plano médio da cabeça e alinhado com os olhos e até a lateral da cabeça, aonde o nível de pressão é maior e também se mantendo a uma distância maior que 50 mm acima da roupa do operador. O aparelho será segurado com a mão nesta distância, tomando todo o cuidado para evitar a entrada de ruído acústico.

A máquina será posicionada no centro do local de ensaio, será ligada primeiro a uma condição de baixa rotação e em seguida até atingir a rotação nominal conforme especificação do fabricante em uma condição de sem carga antes da sequência da leitura dos dados.

Como a máquina possui cabina com sistema de ar condicionado, as medições serão com as portas e janelas fechadas. O sistema de ar condicionado estará operando à meia velocidade, pois ele possui mais que duas velocidades disponíveis.

As posições e os pontos de medição serão as seguintes:

Ponto 1: Lado esquerdo

Ponto 2: Lado direito

Ponto 3: Sobre a cabeça

O tempo de cada medição será de 15 segundos sendo feita 30 medições em cada ponto num total de três pontos. Posteriormente será calculado o nível equivalente de ruído (Leq) através da equação 2.2 citada na revisão bibliográfica.

Esta fórmula será colocada em uma planilha do Excel para agilizar os cálculos. Após o cálculo do ruído será verificado se o nível de ruído está dentro dos limites citados na tabela 3, para avaliação se há necessidade de uso de protetores auriculares ou se o operador for funcionário receber insalubridade ou não.

Dados do decibelímetro:

- a) Fabricante: Instrutherm
- b) N°: 12021123

Dados do trator:

- a) Ano / modelo: 2016
- b) Número de série: RR60170B539674B
- c) Número da lista: RR60170
- d) Família de motores: 1104A-44
- e) Tipo de motor: 2603/220048.5

O decibelímetro que será utilizado nas medições será da marca Instrutherm DEC 460, o qual possui as seguintes características:

- 1) Display de cristal líquido (LCD) de 4 dígitos;
- 2) Escala: 35 a 130 dB;
- 3) Escala de frequência: 31,5 Hz a 8 kHz;
- 4) Escala dinâmica: 65 dB;
- 5) Precisão: \pm 1,5 dB;
- 6) Resolução: 0,1 dB;
- 7) Microfone de eletreto condensado de ½ polegada;
- 8) Ponderação: Ae C;
- 9) Resposta: rápida e lenta;
- 10) Calibração: através do oscilador interno (onda senoidal de 1 kHz) ou calibrador externo (opcional);

- 11) Taxa de atualização: 0,5 segundos;
- 12) Temperatura de operação: 0 a 40°C;
- 13) Peso: 255g;
- 14) Fabricado conforme norma: IEC 61672-2003, classe tipo 2.

Para um critério de análise, deve se calcular o nível de ruído equivalente (Leq), este será calculado para cada ponto medido. As duas equações para o cálculo do Leq é a equação 3 e 4, citada na revisão bibliográfica na seção 2.9.11.

Esta primeira equação 4.1 representa uma integral definida que vai de zero até o tempo T (período de medição), $1/T$ é constante por isso não é integrado, esta fórmula utiliza a pressão medida ponderada em A dividido por uma pressão sonora de referência, seu resultado é expresso em dB.

$$L_{pAeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_o^2} dt \right] dB(A) \quad (3)$$

Onde:

T = é o período de medição, o período de tempo da máquina operada durante o ensaio;

$p_A(t)$ = é a pressão sonora instantânea ponderada em A do sinal acústico;

p_o = é a pressão sonora de referência (20μPa).

Já a equação 4.2 é uma integração digital, um somatório de todos os pontos. Porém agora o nível de pressão sonora medido está no expoente e ela utiliza um valor numérico da porcentagem de tempo dividido por 100. Primeiro é feito o somatório de todos os pontos medidos e depois multiplica-se pelo termo $10 \log$.

$$L_{pAeq,T} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{100} 10^{0,1 L_{pAi}} \right] dB(A) \quad (4)$$

Onde:

t_i = é o valor numérico da porcentagem de tempo para o nível de pressão sonora, do intervalo total de tempo T, do determinado ensaio, com a resolução para L_{pAi} sendo 1,0 dB(A) ou menos. Este tempo é calculado dividindo o tempo de medição pelo tempo total das medições, e multiplicando por 100. L_{pAi} = representa os valores dos níveis de pressão sonora ponderados em A.

A Tabela 3 abaixo demonstra os valores obtidos no ensaio bem como o valor do Leq calculado. Através do cálculo pode-se caracterizar e avaliar o estudo da implementação de cabinas em tratores da marca Massey Ferguson.

Os valores ficaram na faixa de 91 a 93,6 dB, ficando acima do limite mínimo de 85 dB que a NR 15, considera sem o uso de protetores auriculares. Portanto deve indicar o uso de protetores auriculares ou pagar insalubridade para o operador. O operador pode ficar exposto sem o uso de protetores auriculares, 3 horas e 30 minutos no ponto 1 e 2 horas e 15 minutos no ponto 2.

O ruído é classificado como intermitente, porque o ruído intermitente é quando o NPS varia até 3 dB em períodos curtos (menor que 15 minutos e superior a 0,2 segundo).

Tabela 3: Resultados Obtidos pelo cálculo Leq.

Ponto 1	Leq (dB)	Ponto 2	Leq (dB)	Ponto 3	Leq (dB)
91,2	91,03754869	93,8	93,61798303	92,9	92,7020079
91		93,7		93	
90,9		93,6		92,7	
91,1		93,8		92,5	
91,1		93,7		92,6	
91		93,6		92,6	
90,9		93,5		92,7	
91		93,6		92,6	
91		93,5		92,6	
91		93,5		92,8	
91,1		93,6		92,7	
91,1		93,5		92,6	
91		93,6		92,7	
91,2		93,5		92,8	
91		93,6		92,5	
90,9		93,7		92,7	
91,1		93,8		93	
91		93,6		92,9	
91,1		93,8		92,6	
91,1		93,5		92,6	
90,9		93,6		92,7	
91		93,5		92,8	
91		93,5		92,6	
91		93,6		92,7	
91,2		93,7		92,8	
90,9		93,8		92,7	
91,1		93,6		92,5	
91,1		93,5		92,6	
91,1	93,7	92,7			
91	93,5	92,8			

Fonte: Autor, (2016).

Etapa 2: Caracterizar, avaliar e mensurar a cabina da empresa em estudo

Esta etapa será dividida em quatro fases sendo elas: caracterizar a cabina da empresa em estudo, levantamento de dados referente a cabina em seu projeto atual sem isolamento, levantamento de dados referente a cabina em seu projeto atual com isolamento, levantamento de dados com teste de outro material.

Fase 1: Caracterizar, avaliar e mensurar a cabina da empresa em estudo

Em uma visita técnica que foi realizada na empresa em estudo, foi analisado o processo de montagem da cabina, também foi feito entrevistas com o departamento de assistência técnica, com o diretor e com o gerente do departamento de vendas.

Estas entrevistas relatam que o maior índice de ruído é transmitido principalmente pelo painel do trator e ocorrem na rotação de 1500 a 2000 rpm. Na Figura 7 podemos observar o fluxo do processo de montagem da cabina (EMPRESA EM ESTUDO, 2016).

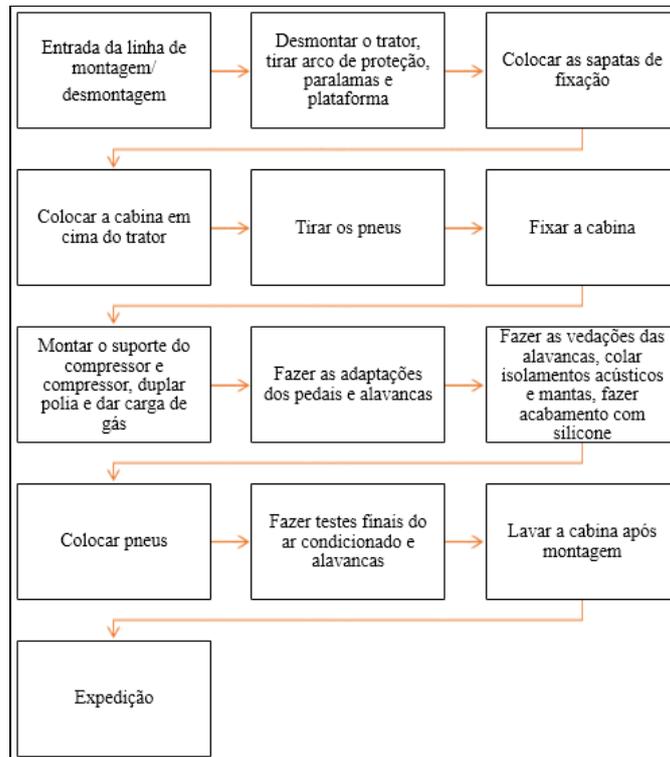


Figura - 7: Fluxo do processo. (Fonte: Empresa em estudo, 2016).



Figura - 8: Cabina atual região frontal. (Fonte: Autor, 2016).

As Figuras 8 e 9 caracterizam a cabina como é montada hoje. Na Figura 8 podemos observar os seguintes itens localizados do meio para frente da cabina:

- Item 01: Fechamento frontal do lado direito, fabricado em plástico;
- Item 02: Manta asfáltica e tapete colocados no lado direito;
- Item 03: Revestimento central, feito de plástico com isolamento acústico de feltro com alumínio;
- Item 04: Manta asfáltica e tapete colocados no lado esquerdo;
- Item 05: Revestimento central, feito de plástico com isolamento acústico de feltro com alumínio;
- Item 06: Fechamento frontal do lado esquerdo, fabricado em plástico;
- Item 07: Revestimento central feito de plástico, isolamento acústico de feltro com alumínio.

Para esta região do meio para frente da cabina são estes os itens montados na cabina. Na figura 09 que mostra a cabina do meio para traz, painel e a parte superior podemos observar os seguintes itens:

- Item 01: Forro interno fabricado em plástico;
- Item 02: Revestimento para-lama lado direito, composto de fibra de vidro, courvin com espuma 8 mm + TNT;
- Item 03: Revestimento da coluna do lado direito, fabricado em plástico;
- Item 04: Chapa de apoio para o banco;
- Item 05: Vedações, feitas de courvin (derivado do petróleo);
- Item 06: Coxins
- Item 07: Revestimento do painel, fabricado em plástico
- Item 08: Revestimento da coluna do lado esquerdo, fabricado em plástico;
- Item 09: Revestimento para-lama lado esquerdo, composto de fibra de vidro, courvin com espuma 8 mm + TNT;

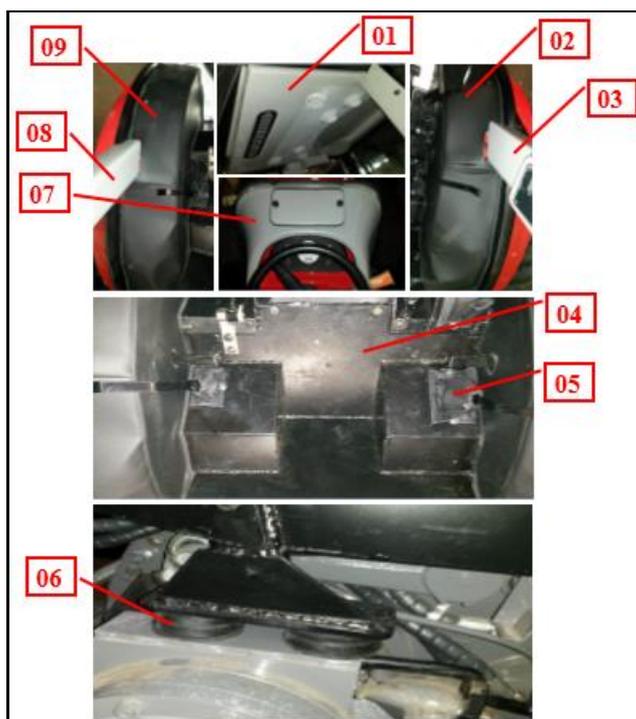


Figura - 9: Cabina atual região de traz. (Fonte: Autor, 2016).

Para esta região do meio para traz, painel e parte superior, são estes os itens montados na cabina.

Fase 2: Levantamento de dados referente à cabina em seu projeto atual, sem isolamento.

Este ensaio foi realizado com a cabina em seu projeto atual, mas sem isolamento, como por exemplo, tapetes, mantas e feltros. A Tabela 4 mostra os resultados deste ensaio.

Tabela 4: Resultados obtidos nos ensaios

Ponto 1	Leq (Db)	Ponto 2	Leq (Db)	Ponto 3	Leq (Db)
97,1	96,90467167	96,5	96,1744633	96	96,4422188
96,8		96,4		95,5	
97		95,9		96,1	
97,3		95,7		96,7	
97,2		96,2		96,8	
96,8		95,8		96,6	
97		96,1		96,7	
96,9		96,4		97	
96,5		96,2		96,7	
96,2		96,5		96	
96,5		96,2		96,1	
96,9		96,4		96,8	
97,1		96,1		96,1	
96,8		96,2		96	
97		96,5		96,7	
97,3		95,9		97	
97,2		95,7		96,7	
96,2		96,2		95,5	
96,5		96,1		96	
96,9		96,5		96,7	
97		96,2		96,8	
96,8		96,1		97	
97,2		96,4		96,7	
97,3		96,5		96	
97		95,7		95,5	
96,8		96,2		96	
97,1		95,8		97	
97		95,9		96,7	
97,2		96,2		96,1	
96,2		96,5		97	

Fonte: Autor, (2016).

Os valores ficaram em uma faixa de aproximadamente 96 a 97 dB, ficando muito acima do limite mínimo de 85 dB que a NR 15, considera sem o uso de protetores auriculares. Portanto deve-se indicar o uso de protetores auriculares ou pagar insalubridade para o operador. O operador pode ficar exposto sem o uso de protetores auriculares entre 1 hora e 15 minutos a 1 hora e 45 minutos no máximo.

Fase 3: Levantamento de dados referente a cabina em seu projeto atual, com isolamento

Nesta fase o levantamento de dados foi feito para verificar se o isolamento que a empresa colocou tem o efeito desejado. Também foi verificado se a cabina está dentro dos limites de tolerância especificados na NR 15. A tabela 5 mostra os valores obtidos neste ensaio.

Tabela - 5: Resultados da terceira fase.

Ponto 1	Leq (Db)	Ponto 2	Leq (Db)	Ponto 3	Leq (Db)
91,5	91,45469335	90,6	90,80184013	91,7	91,8690208
91,4		90,7		91,8	
91,6		90,9		91,8	
91,5		90,9		91,7	
91,6		91		91,8	
91,5		90,9		91,8	
91,4		90,9		91,9	
91,3		90,8		91,9	
91,3		90,7		92,2	
91,4		90,7		92	
91,5		90,6		91,9	
91,6		90,9		91,8	
91,4		91		91,7	
91,3		90,9		92	
91,3		90,8		92,2	
91,4		90,7		91,9	
91,3		90,7		91,9	
91,6		90,9		91,8	
91,5		90,7		91,8	
91,4		90,6		91,7	
91,3		90,7		91,8	
91,3		90,7		91,8	
91,4		90,8		91,7	
91,5		90,9		91,8	
91,6		90,9		91,9	
91,5		91		91,9	
91,6		90,9		91,7	
91,5		90,9		91,9	
91,5		90,7		92	
91,6		90,6		92,2	

Fonte: Autor, (2016).

Os valores ficaram em uma faixa de 90,8 a 91,8 dB, ficando acima do limite mínimo de 85 dB que a NR 15, considera sem o uso de protetores auriculares. Portanto deve-se indicar o uso de protetores auriculares ou pagar insalubridade para o operador. O operador pode ficar exposto sem o uso de protetores auriculares entre 3 horas a 3:30 horas .

Fase 4: Levantamento de dados com testes de outros materiais

Para este teste foi escolhido o material EVA 1110 (10 milímetros de espessura sem cola), com base em seus dados técnicos e indicação da empresa Ducom. As figuras 10 e 11 caracterizam a cabina

como foi montada. Na figura 10 podemos observar os seguintes itens localizados do meio para frente da cabina:

Item 01: Fechamento frontal do lado direito, fabricado em plástico, com isolamento acústico do novo material selecionado EVA 1110;

Item 02: Novo material selecionado EVA 1110 e tapete colocados no lado direito;

Item 03: Revestimento central, feito de plástico com isolamento acústico com o novo material selecionado EVA 1110;

Item 04: Novo material selecionado EVA 1110 e tapete colocados no lado esquerdo;

Item 05: Revestimento central, feito de plástico com isolamento acústico com o novo material selecionado EVA 1110;

Item 06: Fechamento frontal do lado esquerdo, fabricado em plástico com isolamento acústico com o novo material EVA 1110;

Item 07: Revestimento central feito de plástico, isolamento acústico com o novo material EVA 1110.

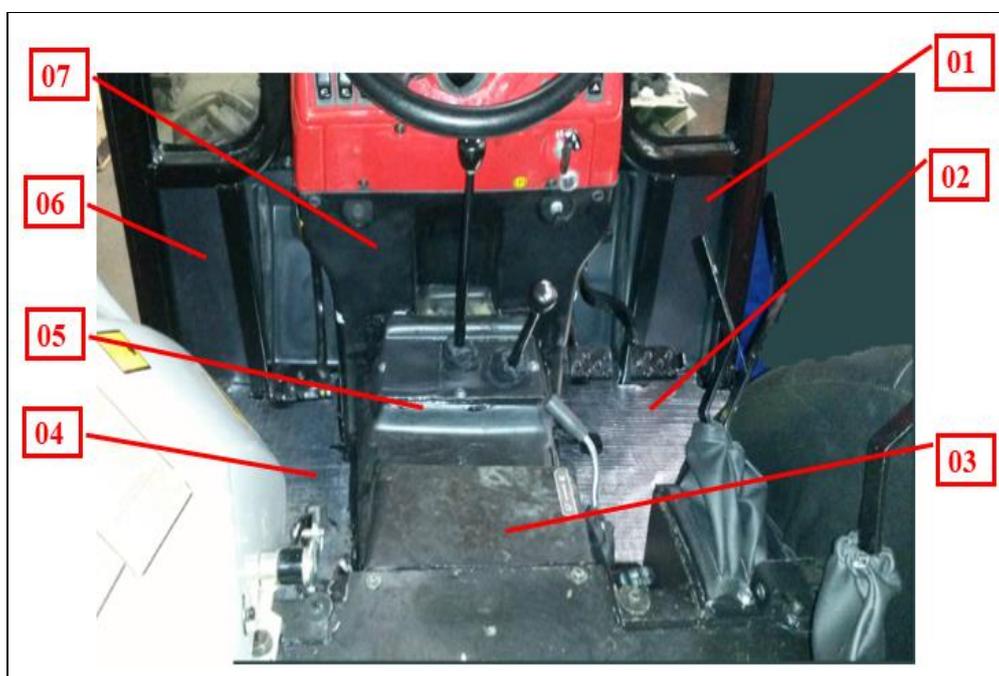


Figura - 10: Cabina com novo material região frontal. (Fonte: Autor, 2016).

Para esta região do meio para frente, são estes os itens montados na cabina. Na Figura 11 que mostra a cabina do meio para trás, painel e a parte superior podem observar os seguintes itens:

Item 01: Forro interno fabricado em plástico;

Item 02: Revestimento para-lama lado direito, composto de fibra de vidro, courvin com espuma 8 mm + TNT;

Item 03: Revestimento da coluna do lado direito, fabricado em plástico;

Item 04: Chapa de apoio para o banco, com isolamento acústico com o novo material EVA 1110;

Item 05: Vedações, feitas de courvin (derivado do petróleo);

Item 06: Coxins

Item 07: Revestimento do painel, fabricado em plástico com isolamento acústico com o novo material EVA 1110;

Item 08: Revestimento da coluna do lado esquerdo, fabricado em plástico;

Item 09: Revestimento para-lama lado esquerdo, composto de fibra de vidro, courvin com espuma 8 mm + TNT.

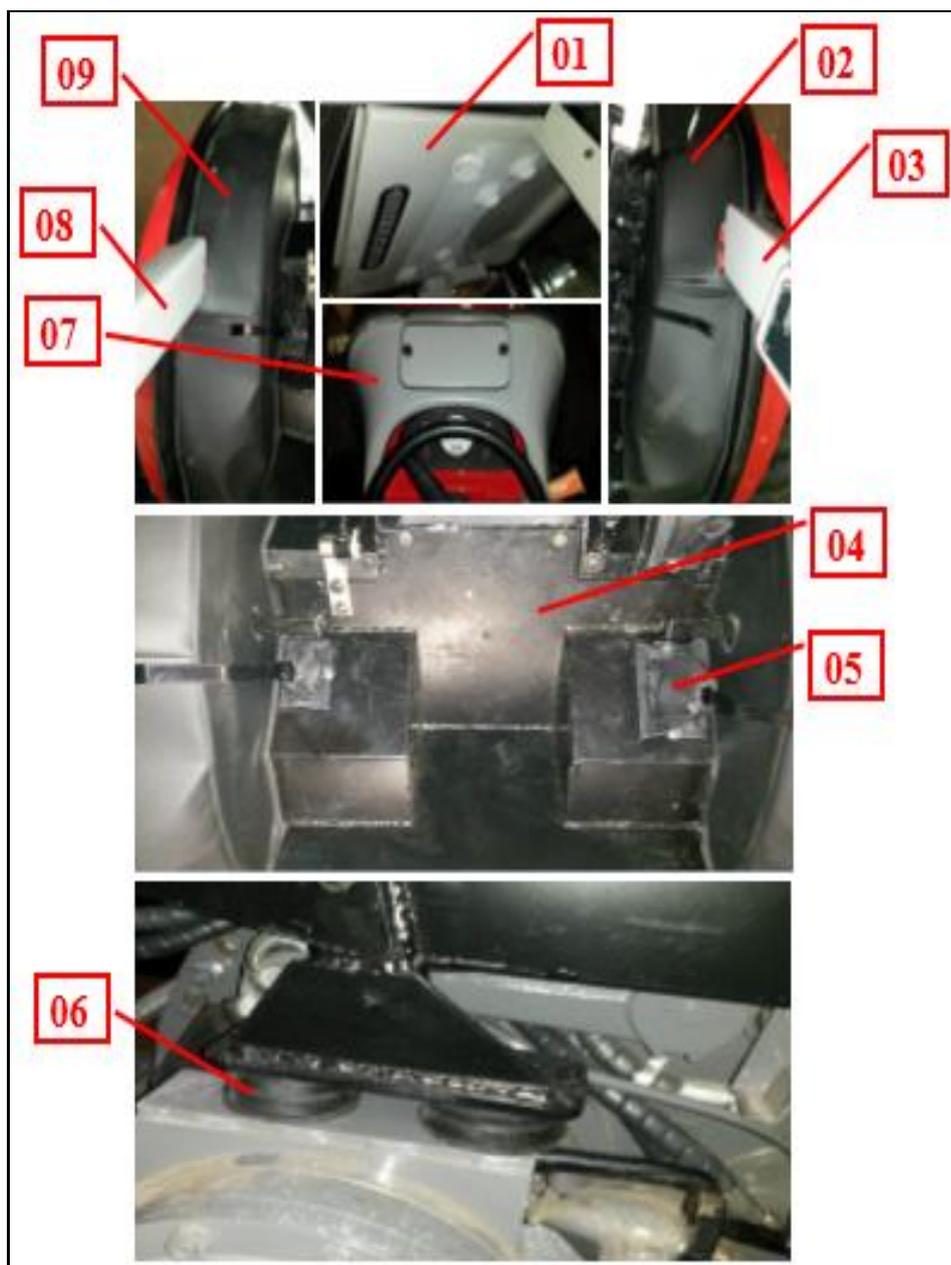


Figura - 11: Cabina atual região de traz. (Fonte: Autor, 2016).

Para esta região do meio para traz, painel e parte superior, são estes os itens montados na cabina. A Tabela 6 mostra os resultados deste ensaio.

Os valores ficaram em uma faixa de 84,4 a 84,7 dB, ficando abaixo do limite mínimo de 85 dB que a NR 15, anexo 1, considera sem o uso de protetores auriculares. Portanto não precisa indicar o uso de protetores auriculares ou pagar insalubridade para o operador. O operador pode ficar exposto sem o uso de protetores auriculares 8 horas diárias.

O novo material selecionado EVA 1110 teve bons resultados e foi classificado como satisfatório, portanto a cabina ficou de acordo com a norma NR 15.

Tabela - 6: Resultados quarta Fase.

Ponto 1	Leq (Db)	Ponto 2	Leq (Db)	Ponto 3	Leq (Db)	
84,7	84,77338527	84,2	84,42365793	85,1	84,6520015	
84,8		84,5		84,8		
84,9		84,3		84,6		
84,8		84,5		84,5		
84,6		84,8		84,7		
85,4		84,6		84,7		
85		84,3		84,8		
84,6		84,6		84,6		
84,7		84,3		84,6		
...Continuação		84,2		84,5		
84,6		84,2		84,6		
84,7		84,3		84,5		
84,8		84,6		8		Continua...
84,7		84,3		84,6		
84,8		84,6		84,8		
84,9		84,8		84,7		
84,6		84,5		84,7		
84,7		84,3		84,5		
84,6		84,5		84,6		
84,7		84,2		84,8		
84,6		84,2		84,6		
85		84,5		84,5		
84,6		84,3		84,7		
84,8		84,5		84,7		
84,9		84,6		84,8		
84,8		84,3		84,6		
84,7		84,6		84,5		
84,9		84,3		84,5		
84,7		84,2		84,6		
84,9		84,5		84,7		

Fonte: Autor, (2016).

Etapa 3: Avaliar os resultados e propor melhorias

Primeiramente, para fazer a avaliação dos resultados, foi medido o nível de ruído de uma cabina original de fábrica. A cabina é do trator modelo John Deere 5078. Esta análise foi feita para se ter um parâmetro de quanto é o nível de ruído em uma cabina original de fábrica. A Tabela 7 apresenta os resultados deste ensaio.

Tabela - 7: Resultados cabina original.

Ponto 1	Leq (Db)	Ponto 2	Leq (Db)	Ponto 3	Leq (Db)
83,7		79,7		81,1	
84		80,2		81,2	
84,3		79,3		81,1	
84,8		79,5		81,2	
84,7		79,1		80,9	
...Continuação		80,6		81	
85,5		80,5		81	
83,9		78,8		80,8	
84,3		78,5		80,8	
83,7		78,6		80,6	
83,7		78,6		80,8	
84,3		78,5		80,6	
83,9		78,8		80,8	
85,5		80,5		80,8	
83,5	84,34528031	79,1	79,57111665	81	80,9572106
84,7		79,5		81	
84,8		79,3		80,9	
84,3		80,2		81,2	
84		79,7		81,1	
83,7		80,2		81,2	
84		79,3		81,1	
84,3		79,5		80,9	
84,8		79,1		81	
84,7		80,6		80,8	
83,5		80,5		80,6	
85,5		78,8		80,8	
83,9		78,5		81,2	
84,3		78,6		80,9	
83,7		80,5		81	
85,5		80,6		81,2	

Fonte: Autor, (2016.)

Os valores ficaram em uma faixa de 79,5 a 84,3 dB, ficando abaixo do limite mínimo de 85 dB que a NR 15, considera sem o uso de protetores auriculares. Portanto não precisa indicar o uso de protetores auriculares ou pagar insalubridade para o operador. O operador pode ficar exposto sem o uso de protetores auriculares 8 horas diárias. A cabina original de fábrica está de acordo com a NR 15. Na Tabela 8 será apresentado o resultado de todas as etapas que foram medidas para posterior discussão.

Tabela 8: Leq equivalente.

Etapas	Leq		
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Etapa 1	91,03	93,61	92,70
Etapa 2 / Fase 2	96,90	96,17	96,44
Etapa 2 / Fase 3	91,45	90,80	91,86
Etapa 2 / Fase 4	84,77	84,42	84,65
Etapa 03	84,34	79,57	80,95

Fonte: Autor, (2016).

Na etapa 1: avaliar e mensurar o trator: os valores obtidos foram de 91 a 93,6 dB.

Na etapa 2: caracterizar, avaliar e mensurar a cabina da empresa em estudo, fase 2: levantamento de dados referente a cabina em seu projeto atual sem isolamento os valores foram de 96 a 97 dB. A fase 3: levantamento de dados referente a cabina em seu projeto atual com isolamento, os resultados ficaram entre 90,8 a 91,8 dB. Já na fase 4: levantamento de dados com teste de outro material os resultados registrados ficaram de 84,4 a 84,7 dB.

Pode-se observar que em todos os dados registrados da etapa 1 e etapa 2, exceto a fase 4 da etapa 2, os resultados ficaram acima do limite mínimo de 85 dB que a NR 15 considera sem o uso de protetores auriculares para 8 horas diárias. Portanto deveria ser indicado o uso de protetores auriculares ao operador, para evitar que ele sofra danos em sua audição.

Ainda pode-se observar que a cabina concentra o ruído que sai do painel pra dentro dela, porque na fase em que foi montada somente a cabina sem isolamento, os valores ficaram bem acima das medições que foram realizadas somente com o trator.

Já quando foi montada a cabina com isolamento em seu projeto atual, os valores ficaram bem abaixo de quando foi montada sem isolamento, porém não deu muita diferença de quando foi medido somente no trator sem a cabina.

O novo material selecionado EVA 1110, foi selecionado com base em seus dados técnicos, porque possui isolamento acústico com redução de 25 a 80% proporcional a espessura, é retardante de chama e também é isolante térmico. O segundo fato de ter selecionado este material é que segundo a empresa Ducom (2016) o material mais utilizado na aplicação agrícola é o EVA 1110 porque possui um preço intermediário, tem boa durabilidade, possui um bom isolamento acústico, é retardante de chama e possui isolamento térmico. A espessura de 10 milímetros foi baseada no espaço que se tinha entre os plásticos, chapas e a carcaça do trator.

Na fase 4: Levantamento de dados com teste de outro material, neste caso o EVA 1110 (espessura de 10 mm), os resultados obtidos ficaram entre 84,4 a 84,7 dB, ficando abaixo do limite mínimo de 85 dB que a NR 15, considera sem o uso de protetores auriculares.

Portanto não precisa indicar o uso de protetores auriculares ou pagar insalubridade para o operador. O operador pode ficar exposto sem o uso de protetores auriculares 8 horas diárias. O novo material selecionado EVA 1110 teve bons resultados e foi classificado como satisfatório, portanto a cabina ficou de acordo com a norma NR 15.

Estes resultados que foram conseguidos na fase 4, só foram possíveis porque foi realizado um estudo do projeto atual e foi melhorado todo o isolamento da cabina, foram isolados muitos lugares aonde antes não eram isolados e também foi dada uma atenção especial ao painel do trator que foi isolado de forma especial (atualmente não é isolado), o qual é o principal foco de transmissão de ruído do motor para dentro da cabina.

A cabina atual era isolada com manta asfáltica e feltro com alumínio, a Tabela 9 mostra a quantidade e valores destes materiais.

Tabela - 9: Materiais atuais.

Material	Qtd. (m ²)	Custo em R\$
Manta asfáltica	0,5	8,30
Feltro com alumínio	1,2	28,90
Total		37,20

Fonte: Autor, (2016).

A Tabela 10 mostra a quantidade e o valor do novo material testado, EVA 1110 com 10 mm de espessura sem cola.

Tabela - 10: Material novo

Material	Qtd. (m ²)	Custo em R\$
EVA 1110 (espessura 10 mm)	3	124,98
Total		124,98

Fonte: Autor, (2016).

O custo do novo material em relação aos materiais utilizados no projeto atual teve um acréscimo de R\$ 87,78. Isto se deve a uma maior quantidade de material utilizado e também ao seu custo que é um pouco maior devido a ser um material de melhor qualidade e melhor durabilidade.

Foi entrado em contato com a empresa para saber o valor gasto com assistências técnicas devido as reclamações de alguns clientes referente ao ruído, a mesma informou que não gasta nada pois não é feito nada, mas a empresa quer reduzir o ruído em suas cabinas.

5 CONCLUSÕES

Em relação ao primeiro objetivo específico: Estudar a NR 15, NBR 6393, NBR 6394, bem como fazer um estudo detalhado sobre ruído, efeitos no organismo, medidas de controle. O som é um fenômeno ondulatório, que se origina de uma vibração mecânica e que se propaga no ar e estimula o ouvido. O ruído é uma mistura de sons de diversas frequências e amplitudes, é caracterizado por ser um som desagradável e capaz de provocar distúrbios no organismo e sensação de desconforto. A primeira reação que o indivíduo tem é a incomodidade ao ruído que ocorre a partir de 65 dB.

O primeiro efeito fisiológico causado pela exposição a altos níveis de ruído é a perda de audição, em exposições contínuas da ordem de 85 dB (A) é suficiente para causar danos irreversíveis à audição ficando mais grave a medida que aumenta a intensidade ou o tempo de exposição.

É importante também ressaltar que o ruído causa sérias consequências ao organismo humano além da perda auditiva, dentre elas, diminuição da habilidade de concentração, alterações cardiocirculatórias, danos à visão, diminuição do diâmetro dos vasos sanguíneos. Sobretudo, existem medidas de controle que podem ser adotadas, sendo feitas na fonte ou trajetória sendo o método mais recomendado quando há viabilidade técnica, controle no meio ou trajetória e controle no homem. E o estudo destas normas proporciona a prevenção de doenças e a integridade física dos trabalhadores.

De acordo com o segundo objetivo específico: Caracterizar os materiais que reduzam o ruído. Avaliou-se os principais materiais utilizados para abafar ruído e utilizou-se estas informações para executar a isolamento acústica. Segundo a empresa Ducom (2016) o material mais utilizado na aplicação agrícola é o EVA 1110, porque possui um preço intermediário, tem boa durabilidade, possui um bom isolamento acústico, é retardante de chama e possui isolamento térmico. A partir deste estudo foi executado o teste de aplicabilidade deste material.

Com relação ao terceiro objetivo específico: Efetuar a medição do ruído conforme norma NBR 6394 do modelo sem a cabina montada no trator. A equação 2.2 utilizada neste cálculo, a qual representa uma integração digital, é uma integração do nível sonoro medido, representa o ruído médio, ou seja, representa o nível sonoro que se fosse contínuo, equivaleria ao ruído medido.

Os valores ficaram na faixa de 91 a 93,6 dB, ficando acima do limite mínimo de 85 dB que a NR 15 considera sem o uso de protetores auriculares. Portanto deve-se indicar o uso de protetores auriculares ou pagar insalubridade para o operador. O operador pode ficar exposto sem o uso de protetores auriculares, 3 horas e 30 minutos no ponto 1 e 2 horas e 15 minutos no ponto 2.

Referente ao quarto objetivo específico: Realizar a medição com a cabina montada no trator, sem isolamento nenhuma. Os valores ficaram em uma faixa de aproximadamente 96 a 97 dB, ficando muito acima do limite mínimo de 85 dB que a NR 15, considera sem o uso de protetores auriculares. Portanto deve-se indicar o uso de protetores auriculares ou pagar insalubridade para o operador. O operador pode ficar exposto sem o uso de protetores auriculares entre 1 hora e 15 minutos a 1 hora e 45 minutos no máximo.

Em relação ao quinto objetivo específico: Mensurar o ruído com a cabina devidamente isolada e verificar se a cabina está de acordo com a norma NR 15: Os valores ficaram em uma faixa de 90,8 a 91,8 dB, ficando acima do limite mínimo de 85 dB que a NR 15, considera sem o uso de protetores auriculares. Portanto deve-se indicar o uso de protetores auriculares ou pagar insalubridade para o operador. O operador pode ficar exposto sem o uso de protetores auriculares entre 3 horas a 3 horas e 30 minutos. A cabina não está de acordo com a NR 15.

De acordo com o sexto objetivo específico: Avaliar as medições realizadas e propor ações de melhorias para a empresa em estudo: A ação de melhoria foi dada através do isolamento da cabina com o material EVA 1110 de espessura 10 mm. Os valores ficaram em uma faixa de 84,4 a 84,7 dB, ficando abaixo do limite mínimo de 85 dB que a NR 15, considera sem o uso de protetores auriculares. Portanto não precisa indicar o uso de protetores auriculares ou pagar insalubridade para o operador. O operador pode ficar exposto sem o uso de protetores auriculares 8 horas diárias.

O novo material selecionado EVA 1110 teve bons resultados e foi classificado como satisfatório, portanto a cabina ficou de acordo com a norma NR 15.

Pode-se observar que em todos os dados registrados da etapa 1 e etapa 2, exceto a fase 4 da etapa 2, os resultados ficaram acima do limite mínimo de 85 dB que a NR 15, considera sem o uso de protetores auriculares para 8 horas diárias. Portanto deveria ser indicado o uso de protetores auriculares ao operador, para evitar que ele sofra danos em sua audição. E ainda pode-se observar que a cabina concentra o ruído que sai do painel pra dentro dela, porque na fase em que foi montada somente a cabina sem isolamento, os valores ficaram bem acima das medições que foram realizadas somente com o trator.

Já quando foi montada a cabina com isolamento em seu projeto atual, os valores ficaram bem abaixo de quando foi montada sem isolamento, porém não apresentou muita diferença de quando foi medido somente no trator sem a cabina.

Estes resultados que foram conseguidos na fase 4, só foram possíveis porque foi dado uma atenção especial no isolamento da cabina, foram isolados muitos lugares aonde antes não eram isolados e também foi dado uma atenção especial ao painel do trator que foi isolado de forma especial (atualmente não é isolado), o qual é o principal foco de transmissão de ruído do motor para dentro da cabina.

Em um Feedback da empresa em estudo, foi comentado que apesar de um custo um pouco mais elevado, o material EVA 1110 (espessura 10 mm) deu bom resultado, diminuindo bastante o ruído, assegurando maior conforto ao operador. A empresa vai usar este material em toda a sua linha de cabinas, tanto na linha paralela quanto original, pois com este maior conforto vai alavancar mais as vendas. A empresa dará um treinamento para toda as suas equipes de montadores para que façam a montagem deste material nos locais corretos e principalmente no painel.

O engenheiro de segurança contratado fez as medições da cabina com o material EVA 1110 de espessura 10 mm e a partir destas fez um laudo técnico, o qual este laudo deverá ser utilizado pela empresa como argumento de que a cabina encontra-se dentro da norma NR 15.

A contribuição da pesquisa para a bibliografia é que a utilização de normas e ensaios não destrutivos contribui para o desenvolvimento de equipamentos e uma aplicação detalhando estes procedimentos possibilita ampliar as aplicações em outros estudos de caso.

6 BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 6394: 2001 - Acústica – Medição de ruído emitido por máquinas rodoviárias na posição do operador – Condições de ensaio estático. Rio de Janeiro, 2001.

NBR ISO 6393: 2012 - Máquinas rodoviárias-determinação do nível de potência sonora – condições de ensaio estático. Rio de Janeiro, 2012.

BONDARENCO, E. *Normas IEC 60804 e 60651*: medidores de nível sonoro, 2007/2008. Disponível em: <http://www.totalsafety.com.br/materia_014.htm>. Acesso em: 24 maio 2016.

COSTA, E. C. *Acústica técnica*. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

DUCOM. *Indústria de plásticos Ltda-ME*. Novo Hamburgo – RS, 2016.

EMPRESA, em estudo. 2016

FUSCO, S. L. *Acústica controle de ruído*: guia prático para redução do ruído industrial. São Paulo: Acústica São Luiz Engenharia e Construções LTDA, 1979.

JOHN DEERE. *Catálogo de peças*. Revenda, Tapejara-RS, abr. 2016.

JUNIOR, T. F. de S. Estruturas de concreto armado: departamento de engenharia. Universidade Federal de Lavras. Disponível em <<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/apostila-concreto>>. Acesso em: 07 jun. 2016.

LANZA, M. B. de F. *Ruído*: parte 1. Belo Horizonte: PUCMG, 2016.

MASSEY FERGUSON. *Catálogo de peças*. Revenda, Tapejara-RS, abr. 2016.

MASSEY FERGUSON. *Especificações MF 4265 compacto*, 2016. Disponível em <<http://www.massey.com.br/produtos/tratores/serie-mf-4200-compacto>>. Acesso em: 22 maio 2016.

MORATA, T. C.; ZUCKI, F. (Orgs.). *Saúde auditiva*: avaliação de riscos e prevenção. São Paulo: Plexus, 2010.

MURGEL, E. *Fundamentos de acústica ambiental*. São Paulo: Senac, 2007.

NORMA REGULAMENTADORA. NR 15 - Atividades e operações insalubres, 2015.

SALIBA, T.M. *Manual prático de avaliação e controle do ruído*: ppra. 6. ed. São Paulo: LTr, 2011.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. 4. ed. rev. at. Florianópolis: UFSC, 2005.