

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

LUIZ HENRIQUE SCARAVONATTO FRIGO

**DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPO DE CABINE ACÚSTICA
PARA UTILIZAÇÃO EM LABORATÓRIO**

CASCABEL

2018

LUIZ HENRIQUE SCARAVONATTO FRIGO

**DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPO DE CABINE ACÚSTICA
PARA UTILIZAÇÃO EM LABORATÓRIO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado ao Centro Universitário da
Fundação Assis Gurgacz como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

**Orientador: Professor Me. Engenheiro
Mecânico Roberson Parizotto**

**CASCADEL
2018**

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ – FAG

LUIZ HENRIQUE SCARAVONATTO FRIGO

**DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPO DE CABINE ACÚSTICA
PARA UTILIZAÇÃO EM LABORATÓRIO**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, da FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Mestre Engenheiro mecânico Roberson Parizotto.

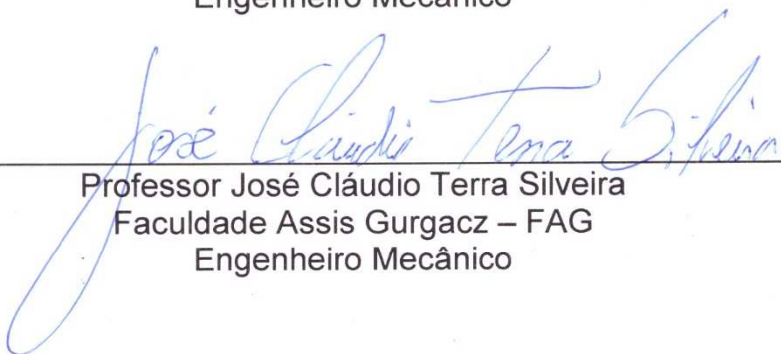
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. Me. Roberson Parizotto
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Professor Carlos Alberto Breda
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Professor José Cláudio Terra Silveira
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 25 de Junho de 2018

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação gráfica da onda mecânica constituída por crista, vale, comprimento e amplitude	13
Figura 2: Representação da percepção sonora pelos humanos	15
Figura 3: Tipos de sons com suas respectivas potências e intensidades.....	16
Figura 4: Gráfico do coeficiente de transmissão em função da frequência	19
Figura 5: Manta de lã de vidro de 20mm utilizada na montagem do protótipo.....	29
Figura 6: Placa de espuma acústica de poliuretano utilizada na montagem do protótipo.....	30
Figura 7: Decibelímetro modelo DEC-460, da marca Instrutherm, utilizado na realização dos ensaios do protótipo	32
Figura 8: Projeto, em SolidWorks, do protótipo da cabine, mostrando seu sistema de fechadura, suportes para colocação de pés de borracha, camada interna de espuma acústica e tira de borracha nas bordas da abertura da porta.....	33
Figura 9: Projeto, em SolidWorks, do protótipo da cabine, mostrando seu sistema de fechadura em funcionamento e os suportes para colocação dos pés de borracha ...	34
Figura 10: Camadas da cabine. Da esquerda para a direita, respectivamente, tem-se a chapa de aço, a lã de vidro, a espuma acústica e a borracha que realiza a vedação da porta	35
Figura 11: Protótipo com suas chapa cortadas e dobradas, aguardando o processo de solda	36
Figura 12: Início da montagem do protótipo, com uma de suas arestas já soldada ..	38
Figura 13: Arestas do protótipo soldadas, faltando apenas os apoios para os pés de borracha e as dobradiças para a fixação da porta	39
Figura 14: Fundo da caixa, com os apoios para os pés de borracha soldados	40
Figura 15: Caixa fechada, com o sistema de fechadura em funcionamento, dando o aperto necessário para não haver a saída de ruídos	41
Figura 16: Finalização da montagem do protótipo. No fundo, camada de espuma de poliuretano e nas laterais, manta de lã de vidro	42
Figura 17: Protótipo finalizado, com todas as camadas de material isolante.....	43
Figura 18: Ensaio realizado do lado de fora da cabine. Imagem mostra celular conectado às caixas de som.....	45
Figura 19: Gráfico demonstrando comparação dos dados aferidos	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Velocidades do som em diferentes meios	13
Tabela 2: Máxima exposição diária permissível, permitida por norma, para os trabalhadores.....	24
Tabela 3: Informações técnicas, aplicações e tipos de lã de vidro	28
Tabela 4: Dados obtidos pelos testes realizados com frequência de 1000Hz	46
Tabela 5: Dados obtidos pelos testes realizados com frequência de 2000Hz	47
Tabela 6: Dados obtidos pelos testes realizados com frequência de 3000Hz	48

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Força resultante da onda sonora.....	14
Equação 2: Intensidade da onda sonora	14
Equação 3: Potência da onda sonora	14
Equação 4: Intensidade da onda sonora	14
Equação 5: Nível de som	15
Equação 6: Nível sonoro no interior da clausura.....	19
Equação 7: Vazão de ar necessária para ventilação.....	20

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe e ao meu padrinho, por me apoiarem e me empurrarem, mesmo com todas as dificuldades na conclusão desse trabalho e do curso. À minha companheira e futura esposa, que esteve e está ao meu lado, tanto nos momentos felizes, quanto nos momentos de dificuldade.

Ao meu orientador, que não me deixou desistir, mesmo quando esse parecia o caminho mais fácil.

E por último a Deus, que me fortaleceu, e que me ajuda a levantar todos os dias para enfrentar todos os obstáculos que a vida me apresenta.

Obrigado à todos.

RESUMO

O presente trabalho tem como o objetivo, o dimensionamento, projeto e fabricação de um protótipo, em escala reduzida, de uma cabine acústica que efetua o enclausuramento de máquinas altamente ruidosas. Mais precisamente o trabalho diz respeito ao controle de ruído, não na sua fonte ou origem, no caso, as máquinas ruidosas. Tampouco nos receptores, os seres humanos. Mas sim na trajetória da transmissão. Foram realizados ensaios de ruídos, através de um aplicativo para celular com a amplificação do som por meio de caixas de som. Em seguida foram obtidos os dados desses ruídos, com o equipamento medidor de nível sonoro, o decibelímetro. Assim, com a medição sonora, conclui-se que existe um funcionamento efetivo do equipamento construído.

Palavras chave: Enclausuramento, ruído, isolamento acústico.

ABSTRACT

This current work, has, as it's goal, the sizing, project and manufacturing of a reduced scale prototype of an acoustic cabin, that produce the enclosure of highly noisy machines. More precisely, it concerns about noise control, not in it's source or origin, in this case noisy machines. Nor the receivers, the human beings. However, in it's trajectory of transmission. There were made noise experiments, by a cellphone application, with the sound amplification through sound speakers. After that, the data descendant from these noises, were acquired, with the sound level meter. Therefore, with the sound measuring, it is concluded that exists an effective operation of the built prototype.

Key words: Enclosure, noise, acoustic isolation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVOS	10
1.1.1. OBJETIVO GERAL	10
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
2. JUSTIFICATIVA	11
3. PROBLEMATIZAÇÃO	11
4. DELIMITAÇÃO	11
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
5.1. DA DEFINIÇÃO BÁSICA DE ONDA SONORA E MECÂNICA	12
5.2. DA VELOCIDADE DO SOM	13
5.3. DA POTÊNCIA E INTENSIDADE DAS ONDAS SONORAS	14
5.4. DO RUÍDO	17
5.5. DA ABSORÇÃO SONORA	17
5.6. DO CONTROLE DE RUÍDO	17
5.7. DA REDUÇÃO DE RUÍDO POR ENCLAUSURAMENTO	18
5.8. DAS VIBRAÇÕES DA CLAUSURA	20
5.9. DA AUDIÇÃO HUMANA	21
5.9.1. Do risco físico do ruído	22
5.9.2. Do perda auditiva induzida por ruído (PAIR)	26
6. DOS MATERIAIS E MÉTODOS	26
6.1. LÃ DE VIDRO	26
6.2. ESPUMA ACÚSTICA (POLIURETANO)	29
6.3. DO MEDIDOR DE NÍVEL SONORO: DECIBELÍMETRO	31
7. DO PROJETO DO PROTÓTIPO	33
8. DA MONTAGEM E EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO	36
9. DOS RESULTADOS DA MEDIÇÃO DE RUÍDO COM O DECIBELÍMETRO	43
10. CONCLUSÃO	50
11. BIBLIOGRAFIA	51

1 INTRODUÇÃO

É muito recente a real preocupação com a saúde e a segurança dos trabalhadores e funcionários das indústrias metalúrgicas e de setores similares. Porém, somente nas últimas décadas há um empenho significativo dos profissionais de engenharia em assegurar a saúde, a segurança e consequentemente o conforto dos empregados dessas indústrias. Nunca é demais lembrar o peso e o significado destes empenhos, uma vez que, a consolidação desses esforços, podem melhorar a vida de muitas pessoas. Esse trabalho consiste em estudar e aplicar formas de garantir a saúde do empregado e o conforto do ambiente de trabalho com o uso do isolamento acústico nas indústrias. Mais precisamente, o trabalho diz respeito ao controle de ruído, não na sua fonte ou origem, no caso, as máquinas ruidosas. Tampouco nos receptores, os seres humanos. Mas sim na trajetória da transmissão, o espaço entre a origem do ruído e o seu receptor, interrompendo ou reduzindo drasticamente o elevado som proveniente do equipamento. Em outras palavras, o presente trabalho foi produzido, para se analisar a viabilidade da construção de uma cabine acústica, construindo a mesma em escala reduzida e realizando os testes e ensaios necessários para responder os questionamentos previamente indagados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é dimensionar, projetar e fabricar um modelo, em escala reduzida, de uma proteção acústica que efetua o enclausuramento de máquinas cujos ruídos ultrapassam os níveis permitidos. Comparando o protótipo com a cabine real, realizar-se-ão ensaios de ruídos, e com o equipamento necessário (decibelímetro) a medição.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De modo a obter-se os resultados esperados, busca-se conduzir algumas ações específicas. São elas:

- Comparar a eficiência da cabine acústica com o uso de equipamentos de proteção individual (EPI);

- Medir, teoricamente, os danos à saúde que poderiam ser causados, caso não houvesse a instalação da câmara acústica, ou seja, analisar a norma e o porquê dos limites dos níveis de ruído serem delimitados da forma que são.

2 JUSTIFICATIVA

A razão desse estudo é a preocupação que as empresas de grande e pequeno porte devem ter com a saúde e o bem-estar dos seus funcionários, para esses não sofrerem, futuramente, com doenças provenientes de seu trabalho. Bem como, gerar o entendimento do funcionamento de cabines acústicas, com a fabricação do modelo, através do atendimento às normas.

3 PROBLEMATIZAÇÃO

O questionamento causal do problema surge em consequência aos danos à saúde que os trabalhadores recebem. No caso, sugere-se a produção e instalação da câmara de isolamento acústico, a partir do enclausuramento do equipamento, como uma possível solução do problema proposto. Bem como, a busca de uma solução eficiente e de baixo custo para empresas que ultrapassem o nível de ruído.

4 DELIMITAÇÃO

O trabalho tem como delimitação, a fabricação de um modelo, em escala reduzida, de uma cabine acústica para a realização de ensaios e obtenção de dados, proveniente dos testes. Realizando-se simulações de ruídos, com os equivalentes intervalos e intensidades de cada máquina ruidosa, que se busca simular.

5 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

5.1 DA DEFINIÇÃO BÁSICA DE ONDA MECÂNICA E SONORA

Segundo Halliday, Resnick e Krane (1996), onda é, basicamente, o transporte de energia cinética e potencial, e momento de um lugar para outro mediante o movimento de partículas.

Ainda comentam que, o movimento ondulatório fornece uma maneira alternativa de transportar energia e momento, sem que as partículas materiais façam tal jornada. Vale frisar que, para uma onda ser considerada mecânica, ela necessita de um meio material para se propagar, e a sua propagação depende da elasticidade desse meio. Uma onda sonora, por exemplo, por ser mecânica, não tem a capacidade de ser propagada no vácuo, um meio não material. A classificação da onda sonora, quanto a direção de propagação, é considerada tridimensional, pois pode se propagar em todas as direções, inclusive em sólidos, líquidos e gases.

Conforme Ramalho Júnior, as ondas podem ser estudadas de acordo com as propriedades adequadas a sua natureza, essas propriedades são divididas em: Crista, vale, amplitude, comprimento, frequência e período. Crista é considerada o ponto mais elevado da onda, o vale corresponde ao ponto mais baixo, e a amplitude equivale ao máximo deslocamento escalar que um ponto da onda pode alcançar, considerando a posição de equilíbrio e o comprimento da onda diz respeito ao comprimento de um ciclo completo de oscilação, ou seja, a distância de uma crista até a outra, ou de um vale até o outro. Já a frequência, condiz ao número de ciclos completos realizados em um período de tempo, e o período da onda se refere ao inverso da frequência. Por exemplo, se uma onda tem a frequência de 60 oscilações por minuto, o seu período é de 1 segundo que equivale ao tempo necessário para completar um ciclo ou uma oscilação. Abaixo, a imagem mostra aplicada na onda, algumas das propriedades acima citadas.

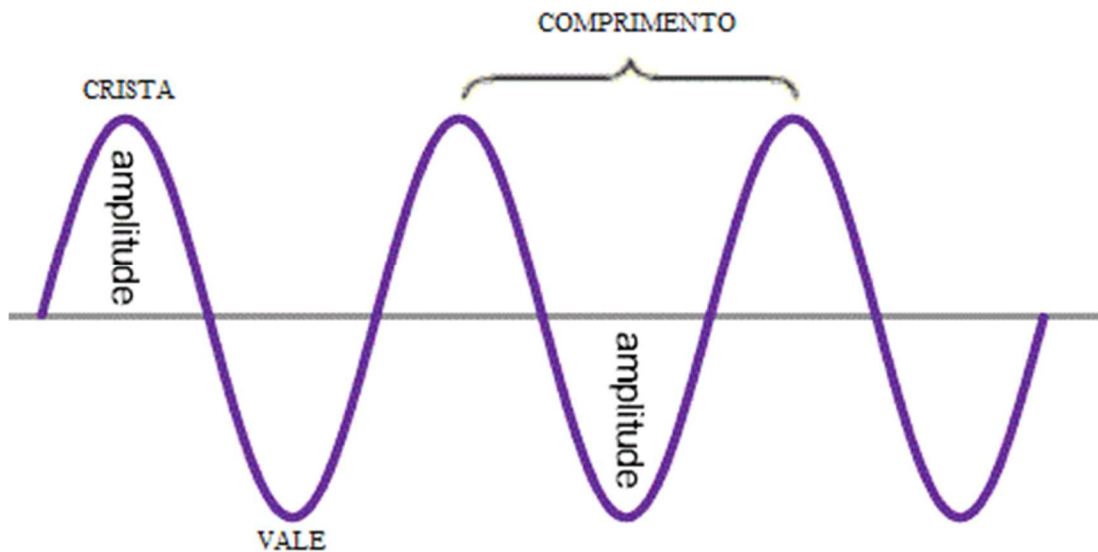


Figura 1: Representação gráfica da onda mecânica, constituída por crista, vale, comprimento e amplitude.

(Fonte: Site PhysicsLab.org)

5.2 DA VELOCIDADE DO SOM

Conforme citam Halliday, Resnick e Krane (1996):

Como ocorre em todas as ondas mecânicas, a velocidade de propagação depende da razão entre uma propriedade elástica do meio (a tensão, no caso de ondas transversais numa corda) e uma propriedade inercial do meio (a densidade linear, na hipótese da corda). (HALLIDAY; RESNICK e KRANE, 1996).

Assim, a velocidade do som varia de acordo com o meio em que a onda sonora se propaga.

Na tabela abaixo, pode-se analisar a velocidade do som em diferentes meios:

Tabela 1: Velocidades do som em diferentes meios.

Meio	Velocidade (m/s)
Ar (0 °C)	331
Ar (20 °C)	343
Gás Hélio	965
Gás Hidrogênio	1.284
Água (0 °C)	1.402
Água (20 °C)	1.482
Água do mar (20 °C e 3,5% de salinidade)	1.522

Alumínio	6.420
Aço	5.941
Granito	6.000

Nota-se que a velocidade varia também no mesmo meio, porém com temperaturas diferentes, devido à variação das distâncias das partículas que se afastam ou se atraem conforme a variação da temperatura do meio.

5.3 DA POTÊNCIA E DA INTENSIDADE DAS ONDAS SONORAS

Para Halliday, Resnick e Krane, à medida em que a onda de pressão se propaga, cada elemento do fluido exerce uma força no elemento que está à sua frente. O módulo da força resultante é:

$$F = A \cdot \Delta P \quad (1)$$

Sendo “ A ” a área da seção transversal do elemento de fluido em m^2 e “ ΔP ” a variação de pressão.

Considerando a intensidade sonora como sendo a qualidade que nos permite caracterizar se um som é forte ou fraco e depende da energia sonora que o transfere, temos a definição de intensidade sonora como a potência sonora recebida por unidade de área de uma superfície, ou seja:

$$I = \frac{P}{A} \quad (2)$$

A definição de potência sonora pode ser representada da seguinte forma, onde é calculada pela relação de energia por unidade de tempo:

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad (3)$$

Por fim, a intensidade é representada por:

$$I = \frac{E \cdot A}{\Delta t} \quad (4)$$

Conforme Halliday, Resnick e Krane, por ser o ouvido humano muito sensível (capaz de responder a intensidades que cobrem mais de 12 ordens de grandeza), introduz-se uma escala logarítmica de intensidade, denominada nível de som e representada por SL . Temos que:

$$SL = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (5)$$

SL é definido em relação a uma intensidade de referência I_0 , para a qual considera-se o valor 10^{-12} W/m^2 (valor típico para o limiar inferior de audição humana). Os níveis sonoros definidos desta maneira são medidos na unidade *decibel* (dB). Um som de intensidade I_0 tem nível de som equivalente a 0 dB, enquanto sons no limite superior de audição, chamado de limiar da dor, têm intensidade de 1 W/m^2 e SL de 120 dB. Cada acréscimo na intensidade de I por um fator multiplicativo de 10 corresponde à adição de 10 dB ao SL .

A sensibilidade do ouvido humano varia com a frequência. O limiar de 10^{-12} W/m^2 se aplica somente à região média do intervalo de frequências em torno de 1.000 Hz. Para frequências mais elevadas, 10.000 Hz, por exemplo, o limiar aumenta para 10 dB (10^{-11} W/m^2), enquanto a frequências inferiores a 100 Hz o limiar é cerca de 30 dB (10^{-9} W/m^2). É necessário um som 1.000 vezes mais intenso para produzir a mesma resposta fisiológica, a 100 Hz, que a 1.000 Hz. Abaixo, apresenta-se uma imagem que mostra a variação de frequência do limiar de audição e de dor.

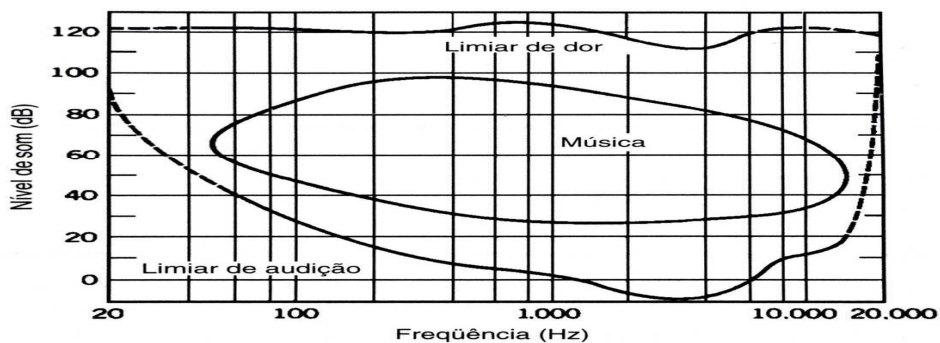


Figura 2: Representação da percepção sonora pelos seres humanos.

(Fonte: HALLIDAY, RESNICK E KRANE (1992))

A imagem abaixo mostra os vários tipos de sons conhecidos e suas respectivas potências acústicas bem como as intensidades sonoras.

	Watts Acústicos	dB	
Avião a jato a 30m	10	130	Limiar de dor
Turbina de avião a 7m	1.0	120	
Trovão	.1	110	
	.01	100	Show de rock
Motor de Caminhão	.001	90	
Picos muito fortes de música	.0001	80	Música clássica (pp-fff - no palco)
Tráfego (carros) Pesado a 10m	.00001	70	
Média de uma fábrica	.000001	60	Conversa normal
Escritório ruidoso	.0000001	50	
Média de um escritório	.00000001	40	Sala silenciosa
Média de uma residência	.000000001	30	
Brisa entre as árvores	.0000000001	20	Estúdio de gravação silencioso
	.00000000001	10	
	.0000000000001	0	Limiar de audição

Figura 3: Tipos de sons, com suas respectivas potências e intensidades.

(Fonte: Departamento de música da Universidade estadual de Maringá, 2009)

5.4 DO RUÍDO

As máquinas e equipamentos utilizados para a fabricação, usinagem, ou até mesmo destruição de materiais, causam altos ruídos, que a curto, médio, mas, principalmente, a longo prazo, irão deteriorar a saúde do operador ou do funcionário que estiver em constante contato com tal máquina.

Segundo Bistafa (2011), o ruído pode ser considerado como um som sem harmonia e que no geral tem uma conotação negativa. O ruído ainda pode ser definido como um som aleatório que atua com diferentes pressões, refletindo assim nas também distintas e nem sempre constantes frequências.

Ainda, Macedo (2012) define ruído como “[...] *uma sensação sonora desagradável, pode ser mensurado, não desejado ou inútil.*”

5.5 DA ABSORÇÃO SONORA

A absorção sonora em recintos, é feita com materiais ditos absorventes acústicos. Estes materiais fazem uso da energia dissipada na sua estrutura para absorver o som. Bistafa (2011) diz:

Materiais tipicamente utilizados para absorber som são fibrosos (lã de vidro, lã de rocha, etc.), ou porosos (espumas de poliuretano – do tipo das esponjas utilizadas em limpeza doméstica etc.). Materiais absorventes são leves e não possuem características estruturais.

Ainda segundo Bistafa (2011), nesses materiais, a absorção se dá essencialmente pela dissipação da energia sonora por atrito, devido ao movimento das partículas do ar no interior do material, quando ocorre a passagem da onda sonora. Assim, percebe-se que a principal propriedade dos materiais absorventes é a resistência ao fluxo de ar, ou seja, a maximização da absorção sonora requer uma resistência ótima através do material.

5.6 DO CONTROLE DE RUÍDO

Segundo Bistafa (2011), o controle de ruído é uma união de várias ciências, que se propõe a reduzir o nível de ruído de um ambiente a condições aceitáveis. Consiste de ciências econômicas, que visam analisar se as soluções propostas são economicamente viáveis; Ciências operacionais, intencionando-se a entender os aspectos operacionais e de funcionamento da máquina ou equipamento em questão;

Aspectos legais, em que destina-se a evitar possíveis ações judiciais contra o local que está gerando os altos ruídos; Ciências médicas, que estão principalmente ligados as consequências que os ruídos causam nos seres humanos, onde a exposição prolongada do receptor a origem do nível sonoro elevado, traz danos irreversíveis a saúde; Elementos psicológicos, que levam em consideração o fato de que algumas pessoas podem ser mais ou menos sensíveis ao ruído do que outras.

Bistafa (2011) diz que, todo problema de controle de ruído envolve uma fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor. Cita ainda:

As fontes sonoras são das mais diversas naturezas e incluem: máquinas, equipamentos e processos industriais, tráfego (rodoviário, ferroviário e aéreo), instalações industriais, atividades de serviços e de lazer, atividades domésticas e instalações de serviços (elevadores, sistemas hidráulicos e de segurança) num condomínio vertical, etc.

A trajetória de transmissão inclui invariavelmente o ar, estruturas sólidas (paredes, divisórias, tubulações) e até líquidos, etc.

O receptor é normalmente o ser humano. Afinal, se há um problema de ruído é porque alguém está sendo incomodado por ele. Porém, uma comunidade próxima a uma rodovia ou instalação industrial é considerada como sendo um único receptor num problema de poluição sonora ambiental.

No nosso caso, visa-se um controle de ruído focado na trajetória de transmissão. Bistafa cita alguns métodos de diminuir ou evitar o ruído na trajetória de transmissão. Por exemplo, aumentar a distância entre a fonte do ruído e do receptor, quando possível; isolar as máquinas barulhentas por meio de enclausuramento total (Caso do trabalho aqui proposto) ou parcial, criar barreiras e biombos; utilizar silenciadores em linhas de exaustão de gases e em instalações de distribuição de ar; tratar as superfícies do recinto com materiais fonoabsorventes; segregar as áreas barulhentas por meio de partições (BISTAFA, 2011) .

5.7 DA REDUÇÃO DE RUÍDO POR ENCLAUSURAMENTO

Ainda segundo Bistafa (2011), quando fala sobre enclausuramento, menciona que existe um campo sonoro no interior da clausura, além do campo já existente, criado pela fonte, onde ambos determinarão o campo sonoro irradiado pelas paredes da clausura, bem como o campo sonoro irradiado no seu interior. Uma equação pode ser utilizada na estimativa desses níveis sonoros em um ponto qualquer no interior da clausura, mas com a incerteza da exatidão do cálculo, caso

esse ponto esteja a menos de meio comprimento de onda afastado da superfície da clausura ou da máquina. Segue abaixo a equação acima citada:

$$L_P = L_W + 10 \log \left(\frac{Q_\theta}{4\pi r^2} + \frac{4}{A_{recinto}} \right) \quad (6)$$

Existem alguns aspectos na construção e utilização de cabines acústicas que necessitam de uma certa atenção do engenheiro na hora de projetar a cabine, tais como frestas, ventilação da cabine, acesso a cabine, janela de inspeção. Esses detalhes, quando passados despercebidos, podem reduzir o rendimento de absorção sonora da cabine drasticamente.

Conforme afirma Bistafa (2011), a eficácia da clausura pode ser reduzida drasticamente com a presença de frestas. Elas geralmente aparecem ao redor de painéis removíveis ou em regiões de entrada das instalações de serviço. A figura abaixo mostra como o efeito das frestas em clausuras, pode ser estimado. Nela se encontra o coeficiente de transmissão e perda na transmissão, em função da frequência de frestas longas e estreitas.

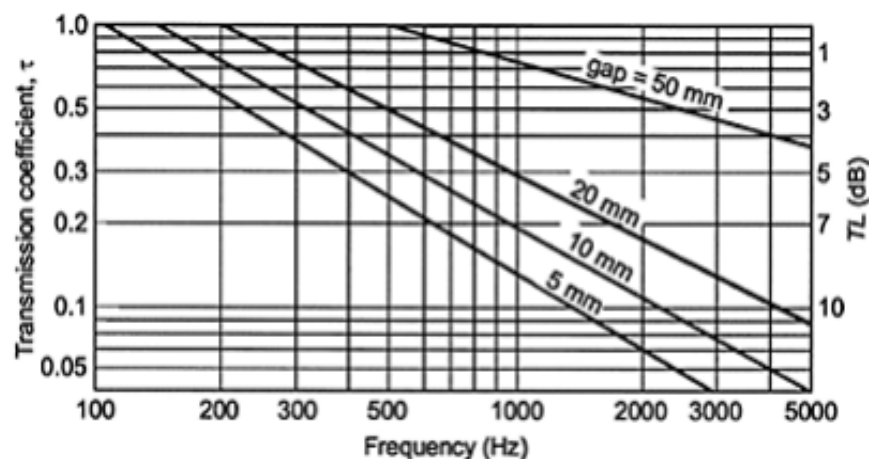


Figura 4: Gráfico do coeficiente de transmissão em função da frequência.

(Fonte: BISTAFA, Sylvio R. (2011))

As clausuras também requerem algum tipo de ventilação, como também o acesso para a entrada e saída de pessoas e materiais. Tais aberturas devem ser tratadas com algum tipo de silenciador para prevenir a clausura de ter uma certa perda de eficiência. Em uma clausura bem projetada, essas aberturas tem um desempenho semelhante ao das paredes dessa clausura.

Bistafa ainda cita que, para ventilação, quando não existe uma carga térmica elevada, é suficiente uma ventilação natural com entradas de ar silenciadas, próximas ao piso, e saídas próximas ao teto, em posições mais elevadas.

Mas caso haja uma necessidade de ventilação forçada, onde a máquina gera grande carga térmica, a fim de evitar superaquecimento, pode se obter uma estimativa da vazão de ar necessária por meio da fórmula abaixo.

$$Q = \frac{H}{\rho C_p \Delta T} \quad (7)$$

Onde Q é a vazão de ar necessária; H, a taxa de geração de calor; ΔT a diferença entre a máxima temperatura admissível no interior da clausura e a temperatura no ambiente externo; ρ a densidade do ar; e C_p , o calor específico do ar.

5.8 DAS VIBRAÇÕES DA CLAUSURA

Bistafa afirma a importância da isolamento de vibrações na Clausura na seguinte citação:

Devem-se evitar conexões rígidas entre a máquina e sua clausura. Sempre que possível, procurar inserir trechos flexíveis nas tubulações e dutos de serviço que atravessam as paredes da clausura; ou, alternativamente, os orifícios de passagem devem ter a folga entre o duto e a parede preenchida com lã mineral, contida entre placas seladas com massa vedadora (mastic).

É sempre aconselhável montar-se a máquina sobre isoladores de vibração, particularmente quando há problemas com ruídos de baixa frequência. Isoladores de vibração reduzem a energia vibratória transmitida para o piso. Quando a máquina é fixada diretamente ao piso, a clausura e a região do piso próxima a ela são excitadas mecanicamente, passando a agir como novas fontes de ruído.

Certas máquinas não podem ser montadas sobre isoladores de vibração. Nesses casos, evita-se a excitação da clausura instalando-a – ela sim – sobre os isoladores de vibração. É preciso escolher adequadamente os

isoladores de vibração, a fim de se assegurar a estabilidade da máquina e também que sua operação não será adversamente afetada.

Nota-se a grande importância que a isolamento vibratória, tanto da máquina quanto da clausura, fornece para gerar a eficiência ao enclausuramento.

5.9 DA AUDIÇÃO HUMANA

Os ouvidos os são órgãos relacionados ao equilíbrio e a audição, divididos em três partes: externa, média e interna (MOUSSALLE, 1997).

Neste sentido, Sergio Moussalle et al (1997), ao tratar da audição, define as funções do ouvido externo:

Este tem a função de coletar e encaminhar as ondas sonoras para o tímpano, além de função protetora. As ondas sonoras, uma vez dentro do canal auditivo externo, sofrem reflexão nas paredes do conduto, contribuindo para proteção do sistema auditivo contra sons de alta intensidade. Além disso, o ouvido externo tem a função primordial de manter a membrana timpânica com umidade e elasticidade adequadas para exercer sua função de condução sonora.

Ainda, explica o autor que o ouvido médio tem as seguintes funções (MOUSSALLE, 1997):

Desempenha função de transmitir e amplificar as ondas sonoras do ouvido externo até a janela oval. Além desta função, o ouvido médio também responde pela proteção coclear contra sons de alta intensidade e mascara os sons de baixa frequência em ambientes ruidosos.

Por fim, o autor destaca sobre o ouvido interno (MOUSSALLE, 1997):

Compreende a parte do aparelho auditivo em que a onda sonora se transforma em estímulo nervoso ao nível do órgão de Corti, do qual é conduzido aos centros corticais da audição, onde se torna consciente a sensação sonora. O órgão de Corti é o aparelho receptor e analisador do som, enquanto o ouvido externo, ouvido médio e os líquidos labirínticos constituem o aparelho transmissor das ondas sonoras.

Considerando que no ouvido externo e médio as ondas sonoras se propagam com grande amplitude e pouca força, chegando ao ouvido interno de forma refletida, nosso organismo, para perceber o som, teve que se adaptar e criar um método de amplificação. Assim, transformam-se as ondas sonoras de grande amplitude e pouca força, em ondas de pequena amplitude e grande força (MOUSSALLE et al, 1997).

Assim, em relação à transmissão sonora, destaca-se que esta ocorre através do impacto das vibrações sonoras na membrana timpânica, transmitidas até o centro

da membrana, onde fica o cabo do martelo, tracionado para dentro pelo músculo tensor do tímpano (MOUSSALLE, 1997).

Ocorre que, em nosso ouvido médio, temos a articulação da bigorna com o estribo, que causa deslocamento de líquido coclear toda vez que o cabo do martelo se move para dentro (MOUSSALLE, 1997).

Neste sentido, conforme Sergio Moussalle (1997):

[...] o sistema ossicular transmite ao sistema nervoso central sons de alta intensidade, ocorre uma reação reflexa que leva à contração dos músculos tensor do tímpano e estapédio. O tensor do tímpano puxa o cabo do martelo para dentro enquanto o estapédio puxa o estribo para fora. Dessa forma, a condução sonora fica reduzida, pois diminui acentuadamente a amplitude dos movimentos da cadeia ossicular, que fica com nível aumentado de rigidez, protegendo o sistema nervoso central e a cóclea de lesões nervosas.

Deste modo, considerando que a audição é fundamental para comunicação humana, com o desenvolvimento da linguagem oral e da fala (Pignatari, Anselmo-Lima, 2018), é de suma importância a análise do agente físico ruído, como fator insalubre.

5.9.1 DO RISCO FÍSICO DO RUÍDO

Conforme Macedo (2012), são considerados riscos físicos o ruído, temperaturas externas, vibrações, pressões anormais e radiações, ou seja, os diversos tipos de energia.

Entende-se, também, por risco físico (MATTOS, MÁSCULO, 2011):

São aqueles ocasionados por agentes que têm capacidade de modificar as características físicas do meio ambiente, que, no momento seguinte, causará agressões em quem estiver nele imerso. Por exemplo, a existência de um tear numa tecelagem insere no ambiente um risco do tipo aqui estudado, já que tal máquina produz ruídos, isto é, ondas sonoras que alterarão a pressão acústica que incide sobre os ouvidos dos operários.

Assim, entende-se que o ruído é causa de diversos efeitos indesejados, tais como psicológicos (nervosismo, irritabilidade), deficiências de comunicação, fisiológico (perda de audição, dor de cabeça, diminuição do controle muscular), sendo que tais incômodos podem ser causados por máquinas e motores de indústrias em funcionamento permanente (MACEDO, 2012).

Neste sentido, devem-se adotar medidas para minimizar o ruído, tais como uso de protetores auriculares, manutenção periódica de maquinário, instalação de barreiras, “[...] *podendo ser formadas por painéis fixos ou móveis, constituídos com materiais isolantes* [...]” (MACEDO, 2012).

Além disso, a Consolidação das Leis do Trabalho conceitua atividade insalubre:

Art . 189 - Serão consideradas atividades ou operações insalubres aquelas que, por sua natureza, condições ou métodos de trabalho, exponham os empregados a agentes nocivos à saúde, acima dos limites de tolerância fixados em razão da natureza e da intensidade do agente e do tempo de exposição aos seus efeitos.

Em complementação, a Norma Regulamentadora 15 (NR 15), define que atividade insalubre, conforme item 15.1.1, é aquela desenvolvida acima dos limites de tolerância definidos nos anexos 1, 2, 3, 5, 11 e 12, sendo que o anexo 1 trata do ruído.

Neste sentido, a NR 15 define limites de tolerância:

15.1.5 Entende-se por “Limite de Tolerância”, para os fins desta Norma, a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral.

Destaca-se, ainda, conforme NR 15, que o trabalho exercido em condições insalubres gera direito ao adicional de insalubridade, calculado com base no salário mínimo da região, podendo variar:

15.2.1 40% (quarenta por cento), para insalubridade grau máximo;

15.2.2 20% (vinte por cento), para insalubridade grau médio;

15.2.3 10% (dez por cento), para insalubridade grau mínimo;

Entretanto, é importante esclarecer que, com fundamento na Súmula Vinculante 4 do Supremo Tribunal Federal, o Tribunal Superior do Trabalho, em sua Súmula 228, define que a base de cálculo do adicional de insalubridade é o salário base do trabalhador:

SÚMULA 228.

ADICIONAL DE INSALUBRIDADE. BASE DE CÁLCULO. A partir de 9 de maio de 2008, data da publicação da Súmula Vinculante nº 4 do Supremo Tribunal Federal, o adicional de insalubridade será calculado sobre o salário básico, salvo critério mais vantajoso fixado em instrumento coletivo.

Ainda, conforme Bruno Eugênio Ramos (2013), *“Para a caracterização de insalubridade deve-se seguir a NR-15 e seus anexos 1 (Ruído contínuo e intermitente) e 2 (Ruídos de Impacto)”*.

O ruído pode ser classificado em três categorias: ruído de impacto, intermitente e contínuo, conforme Anexos 1 e 2 da NR 15.

Assim, o Anexo 2 da NR 15 define ruído de impacto: *“[...] aquela que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1 (um) segundo, a intervalos superiores a 1 (um) segundo.”*

Com base na NR 15, Giovanni Moraes (2011) define ruído de impacto:

Se o ruído tiver duração menor que um segundo e intervalados maiores que um segundo, será denominado como ruído de impacto. Esse tipo de ruído é resultante das operações envolvendo máquinas perfuratrizes, marteletes pneumáticos, prensas entre outros.

Em relação aos ruídos contínuos e intermitentes, a norma regulamentadora define que são aqueles não classificados como ruído de impacto.

Nesse sentido, Moraes (2011) explica sobre ruído contínuo ou intermitente:

Define-se ruído contínuo como sendo aquele em que teoricamente existe constância na sua intensidade. Exemplo: ruído de um motor ou de uma turbina que gira a velocidade constante originando um ruído de 96 decibéis. Entretanto, aceita-se como ruído contínuo a variabilidade (elastério) máximo até 3 decibéis.

Se o ruído se apresentar com variações de intensidade maiores do que 3 dBA, será denominado ruído intermitente. Não confundir esse tipo de ruído com a condição de intermitência de exposição que é o contrário de permanência de exposição a um determinado agente.

Portanto, verifica-se no Anexo 1 da NR 15 a tabela de limites de tolerância para ruídos intermitentes ou contínuos. Assim, *“[...]os tempos de exposição aos níveis de ruído não devem exceder os limites de tolerância fixados no Quadro deste anexo.”*, item 3, Anexo 1 da NR 15.

Tabela 2: Máxima exposição diária permissível, definida por norma, para os trabalhadores.

Nível de ruído dB (A)	Máxima exposição diária permissível
85	8 horas

86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Por fim, o Anexo 1 da NR 15 determina a maneira de medição do ruído contínuo ou intermitente:

2. Os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB) com instrumento de nível de pressão sonora, operando no circuito de compensação “A” e circuito de resposta lenta (SLOW). As leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador.

Da mesma forma, o Anexo 2 da NR 15 determina a maneira de medição do ruído de impacto:

2. Os níveis de impacto deverão ser avaliados em decibéis (dB), com medidor de nível de pressão sonora operando no circuito linear e circuito de resposta para impacto. As leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do

trabalhador. O limite de tolerância para ruído de impacto será de 130 dB (linear). Nos intervalos entre picos, o ruído existente deverá ser avaliado como ruído contínuo.

5.9.2 DA PERDA AUDITIVA INDUZIDA POR RUÍDO (PAIR)

Conforme Adriano Dias et al (2006), entende-se que os trabalhadores expostos à ruído ocupacional intenso apresentam mais riscos de sofrer acidentes de trabalho quando comparados à trabalhadores não expostos.

Além dos riscos relacionados aos acidentes de trabalho, há também o risco de desenvolvimento de doenças ocupacionais, como a perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR).

Conforme Bruno Eugênio Ramos (apud MAIA, 1999), a perda auditiva induzida por ruído é considerada uma perda cumulativa, causada pela destruição das células sensoriais da cóclea.

Assim, a perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR) é uma patologia irreversível, causada pela exposição ao ruído, que varia conforme a intensidade, frequência, tempo de exposição e suscetibilidade do indivíduo (REGIS FILHO, 2004).

Neste sentido, entende Regis Filho (2004):

[...] a pressão sonora superior à intensidade de 85/90 dB, frequências mais altas a partir de 4.000/6.000 Hz, tempo de 8 horas ou mais de exposição e um ritmo contínuo, são condições extremamente propícias para o desenvolvimento de lesão coclear irreversível e consequente Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR).

Deste modo, considerando as condições acima expostas, é de suma importância a análise da neutralização do agente físico ruído.

6 DOS MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa requereu o uso dos seguintes materiais para a realização dos testes: Chapas de aço para a estruturação da cabine, lã de vidro e espuma acústica para fornecer o isolamento acústico, caixas de som, para simular os ruídos, Decibelímetro, para realizar os testes dos ruídos simulados, aparelho celular

O procedimento foi feito com o posicionamento do decibelímetro a uma distância pré-determinada da cabine. Sendo realizado em pelo menos três etapas, sem câmara, com a porta da câmara aberta e com a câmara fechada. Utilizando as caixas de som para gerar os ruídos, faz-se a captação das ondas sonoras e analisa-se os dados obtidos, com o decibelímetro.

6.1 LÃ DE VIDRO

A lã de vidro é um material que, historicamente, é derivado da fabricação da fibra de vidro. Segundo Bauer (2008), sua criação é proveniente da fusão de duas empresas, a Owens-Illinois e a Corning Glass Works, formando assim a Owens-Corning Fiberglass Corporation, as quais buscavam o desenvolvimento de novos produtos para a expansão de seus mercados.

Dessa união, surgiu primeiro a fabricação da lã de vidro, e posteriormente a fabricação de fibras têxteis.

Assim, Bauer (2008) explica o processo da fabricação de lã de vidro:

A lã de vidro é produzida fazendo-se passar o vidro fundido através de pequenos furos ou orifícios. À medida que os filetes de vidro fundido escorrem através dos orifícios, eles são atingidos por jatos de ar ou vapor a alta pressão, fazendo com que um produto, com aspecto de lã, seja produzido. A temperatura do vidro, a dimensão dos orifícios e a pressão dos jatos condicionam o tipo de fibra fabricada. Elas podem ser longas ou curtas, finas ou grossas.

Em seguida, as fibras passam através de uma campânula que controla suas dimensões e espessuras. A lã de vidro é, então, transformada em chapas ou placas rígidas através de um processo térmico de assentamento das fibras, após o que elas seguem por rolos compressores e formas, que terminam por compactá-las.

Nesse sentido, a lã de vidro, cuja densidade média é $24,03 \text{ kg/m}^3$, é amplamente utilizada no mercado da engenharia como isolante termo acústico. Na tabela abaixo, observam-se as informações técnicas, aplicações e tipos de lã de vidro, conforme Bauer (2008):

Tabela 3: Informações técnicas, aplicações e tipos de lã de vidro.

<i>Tipos</i>	<i>Espessura (mm)</i>	<i>Densidade (kg/m³)</i>	<i>Coefficiente de absorção sonora 250–400 Hz</i>	<i>Aplicações</i>
Plana (manta resili- ente)	12,7	8,01	0,14–0,73	<i>Principal:</i> mantas para isolamento acústico aplicadas em materiais perfurados
		12,02	—	
		16,02	0,16–0,78	
		24,03	—	
	19,5	32,04	—	<i>Outras:</i> isolamento acústico para equipa- mentos, dutos, tubos
		24,03	—	
Plana (manta semi-rí- gida)	25,4	8,01	0,25–0,76	
		16,02	0,30–0,80	
		12,02	—	
		24,03	—	
	38,10	32,04	—	
		16,02	—	
Placas	31,75	50,03	—	Forros
		24,03	0,54–0,75	
		48,06	0,47–0,81	
		24,03	0,61–0,83	

No caso do presente trabalho, utiliza-se a lã de vidro no formato de manta, de 20mm de espessura.

Abaixo, figura da lã de vidro utilizada na montagem do protótipo.



Figura 5: Manta de lã de vidro de 20mm de espessura utilizada na montagem do protótipo.

6.2 ESPUMA ACÚSTICA (POLIURETANO)

Conforme Ashby e Johnson (2011), a espuma de poliuretano é adequada para acolchoar, amortecer, gerenciar energia, para isolamento térmico e controle acústico.

Portanto, tratando-se de controle acústico, há necessidade de absorção de som e amortecimento de vibrações (Ashby, Johnson, 2011).

Nesse sentido, conforme Catai et al (2006), indica-se o uso da espuma elastomérica para acústicas em escritórios, auditórios, salas de som e de treinamento.

Assim, explica Catai et al (2006):

Este material é uma espuma do poliuretano poliéster, auto-extinguível, que possui as seguintes propriedades:

- tratadas com retardante a chama para melhorar sua propriedade quanto a segurança ao fogo;
- estão protegidas contra mofo, fungos e bactérias.

Outro material bastante popular no mercado é a espuma acústica. Neste sentido, define a empresa Amplitude Acústica:

[...] é um absorvedor sonoro usado para proporcionar conforto acústico em ambientes fechados, adequar a reverberação do som e minimizar o barulho indesejável.

A espuma acústica é feita a base de poliuretano poliéster flexível auto extingüível (anti-chama) para utilização em locais que necessitam absorção sonora para controle de reverberação.

Desenvolvida para proporcionar conforto acústico e redução de ruído aos mais diversos ambientes, a Amplispuma é um revestimento com alto desempenho, apresentando uma excelente absorção sonora que evita reverberação do som.

Abaixo, figura da espuma de poliuretano de 25mm utilizada na montagem do protótipo.



Figura 6: Placa de espuma acústica de poliuretano 25mm utilizada na montagem do protótipo.

6.3 DO MEDIDOR DE NÍVEL SONORO: DECIBELÍMETRO

Conforme Bistafa (2011), o medidor de nível sonoro, também denominado de sonômetro ou decibelímetro, capta, através de seu microfone (sensor de pressão sonora), os níveis de pressão sonora gerados pelo ambiente.

Assim, através do decibelímetro, ou seja, da medição acústica, permite-se (Bistafa, 2011):

- identificar e localizar fontes de ruído dominantes;
- selecionar métodos, dispositivos e materiais para o controle de ruído;
- avaliar e comparar soluções de controle de ruído;
- verificar o atendimento as normas e legislações de controle de ruído;
- determinar a potência de fontes sonoras;
- avaliar a qualidade acústica de um recinto, sua adequação para determinado uso etc.

Ainda, o decibelímetro apresenta o valor da pressão sonora em uma escala logarítmica, graduada em decibéis (Bistafa, 2011).

Por fim, entende-se que os componentes básicos de um decibelímetro, conforme Bistafa (2011), são:

- microfone – converte a pressão sonora em um sinal elétrico equivalente;
- pré-amplificador – como o nome indica, amplifica o sinal de baixa magnitude gerado do microfone;
- filtro ponderador – pondera o sinal para simular a resposta do sistema auditivo às diferentes frequências contidas no som;
- filtros de 1/n oitava – filtra o sinal em bandas de frequência de 1/n oitava (módulo opcional);
- detector de valor eficaz (rms) – extrai o valor eficaz da forma de onda incidente no microfone;
- ponderador temporal – estabelece com que rapidez o dispositivo indicador irá responder a variações do sinal;
- dispositivo indicador – interface de leitura da medição, podendo ser do tipo agulha ou digital.

Assim, o decibelímetro fornece o nível sonoro total do som que incide no microfone, quando não incorporado por filtros ponderadores, que fornecem melhor nível de audibilidade.

No presente trabalho, o equipamento para medição sonora utilizado foi o DEC-460, da marca Instrutherm, fornecido pelo Centro Universitário FAG.

Abaixo, figura do equipamento previamente aferido, utilizado para a realização dos ensaios do protótipo construído.



Figura 7: Decibelímetro modelo DEC-460, da marca Instrutherm, utilizado na realização dos ensaios do protótipo.

7 DO PROJETO DO PROTÓTIPO

As dimensões analisadas para a criação do projeto foram consideradas de modo a serem grandes o suficiente para comportar em seu interior todos os componentes para a realização dos ensaios. Porém, de um tamanho que não encarecesse tanto a fabricação do protótipo e que não causasse alteração nos resultados obtidos.

Portanto, foi determinado como Comprimento, largura e altura, respectivamente, 45 cm, 35 cm e 30 cm. A cabine é estruturada em aço SAE 1020 de espessura 1,5mm. Logo depois, internamente, apresenta-se uma camada de 20mm de lã de vidro e em sequência uma camada de 25mm de espuma acústica. Bem como uma tira de borracha de 8mm para a vedação da porta da cabine.

É usado, para a realização do projeto, o software SolidWorks 2016 e o sistema de desenho de chapas metálicas, onde em sequência é possível realizar a planificação do desenho para posterior programação em corte CNC à laser.

Abaixo, vista isométrica do projeto da cabine com sua tampa aberta.

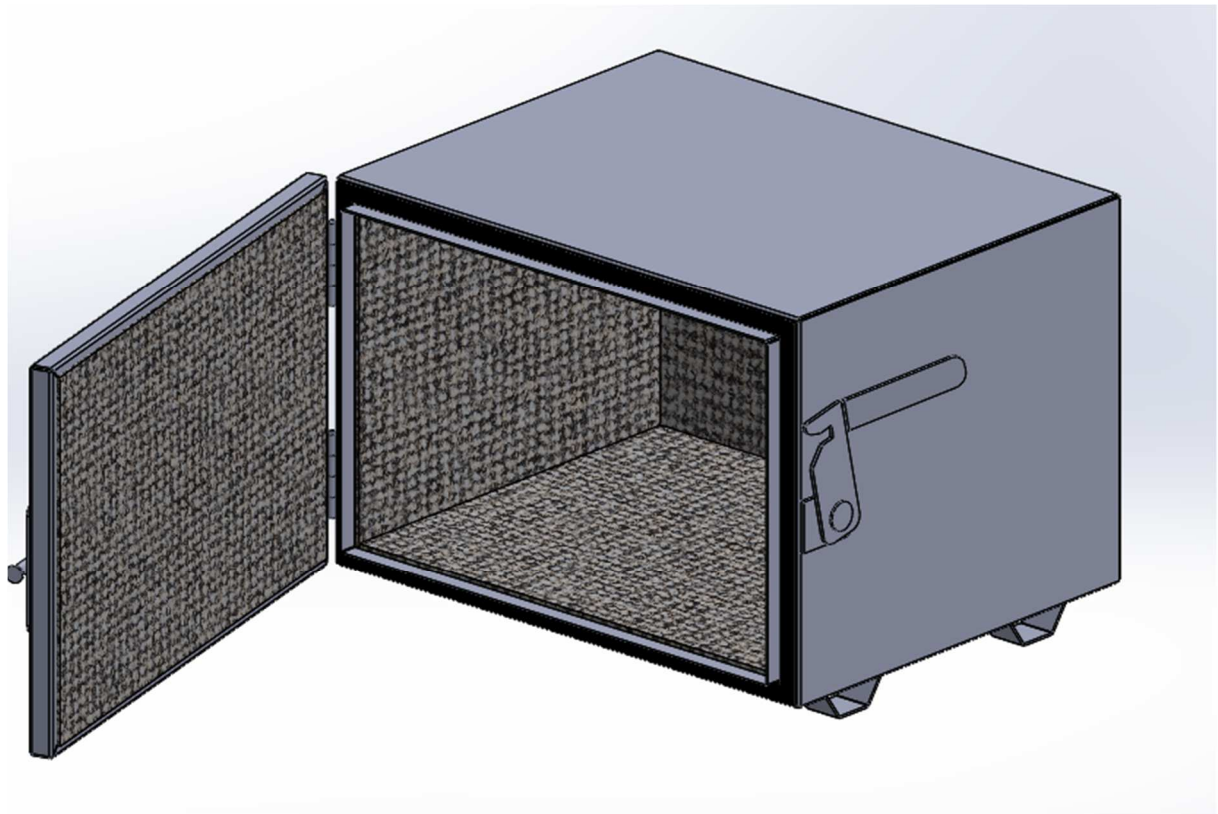


Figura 8: Projeto, em SolidWorks, do protótipo da cabine, mostrando seu sistema de

fechadura, suportes para colocação de pés de borracha, camada interna de espuma acústica e tira de borracha nas bordas da abertura da porta.

Temos ainda a mesma vista isométrica, mas dessa vez com a porta da cabine fechada. Segue abaixo a figura.

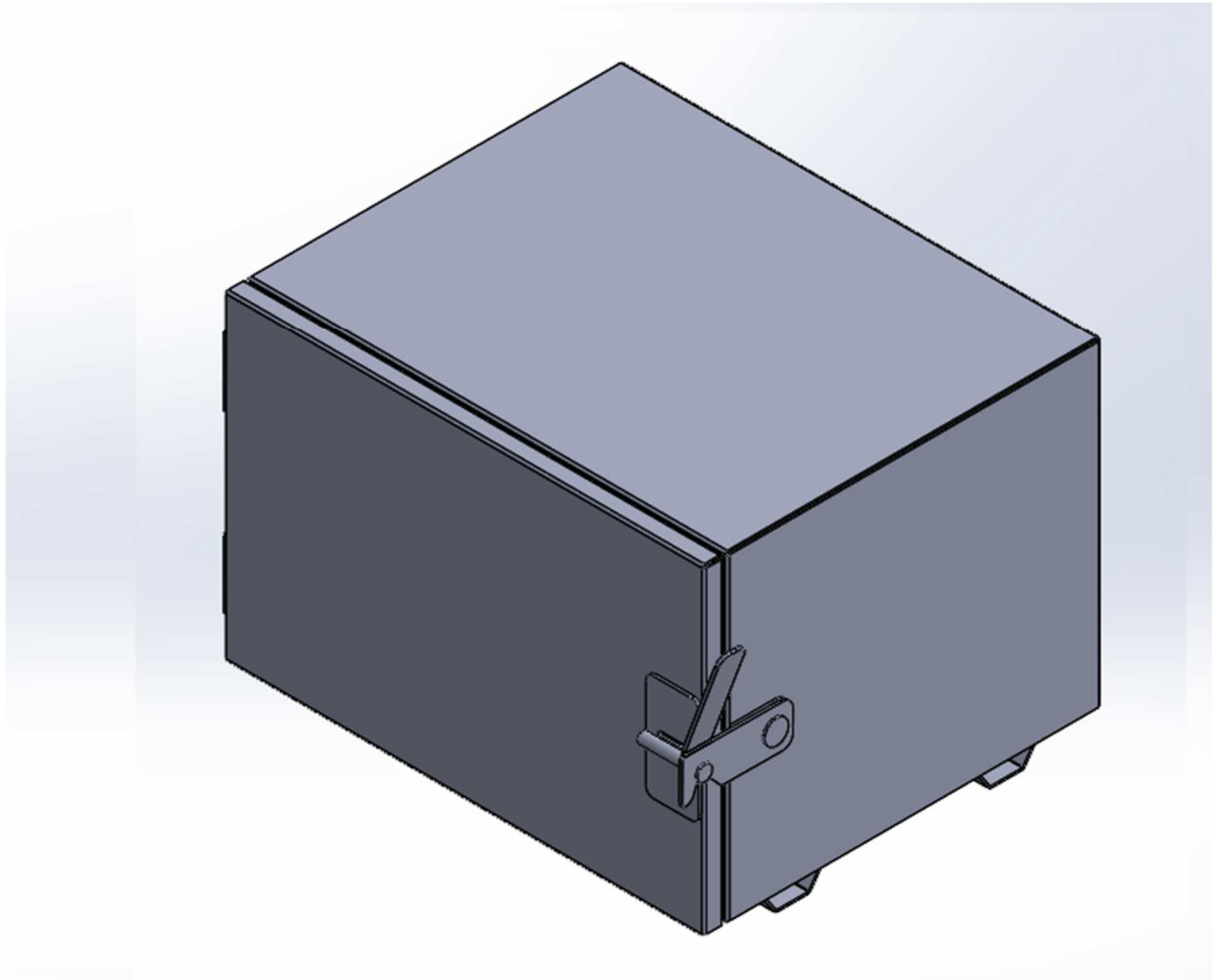


Figura 9: Projeto, em SolidWorks, do protótipo da cabine, mostrando seu sistema de fechadura em funcionamento e os suportes para colocação de pés de borracha.

No software SolidWorks existe a opção de um tipo de explosão das camadas, mostrando cada uma delas, em sua determinada sequência e no mesmo desenho.

Abaixo, a figura mostra essa representação, identificando, respectivamente da esquerda para a direita, a chapa de aço, a fibra de vidro, espuma acústica e borracha de vedação da porta.

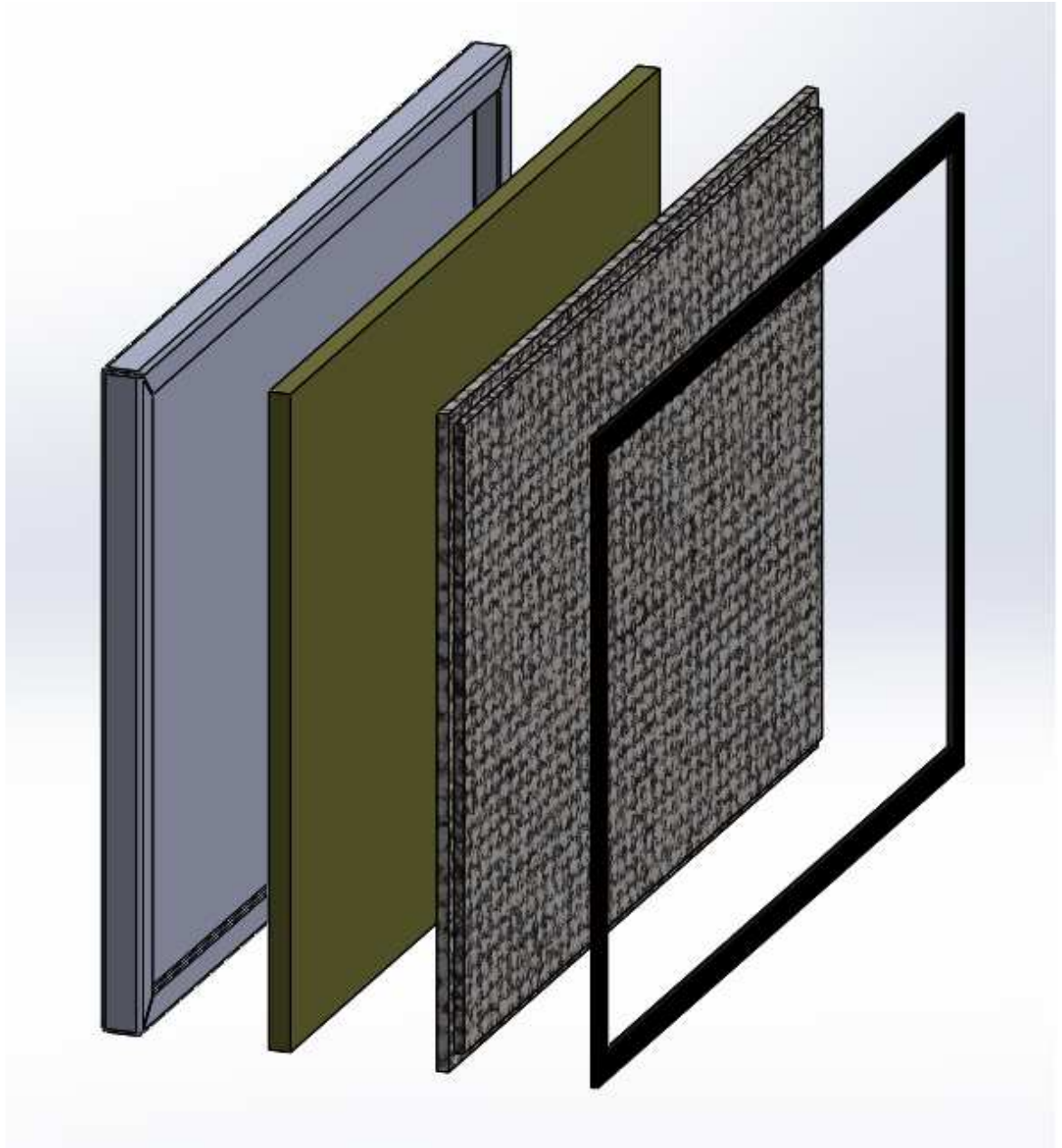


Figura 10: Camadas da cabine. Da esquerda para a direita, respectivamente, tem-se a chapa de aço, a lâ de vidro, a espuma acústica e a borracha que realiza a vedação da porta.

O projeto prévio em SolidWorks é essencial para o sucesso da fabricação do protótipo, visto que o software é rico em simulações de funcionamento de componentes. Sem o software, a montagem e fabricação da cabine seria de grande dificuldade, e facilmente suscetível a erros.

8 DA MONTAGEM E EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO

Seguindo o projeto do SolidWorks, inicia-se a fabricação e montagem do protótipo propriamente dito.

O primeiro passo para o início da fabricação é a conversão dos desenhos de SolidWorks para o software AutoCAD, que em seguida será convertido para o formato de desenho em que o software instalado na máquina de corte à laser, trabalha.

É realizado então o corte da chapa de aço SAE 1020 de 1,5mm de espessura no processo à laser e em seguida são feitas as dobras nas peças que as requerem.

Abaixo, início da montagem da caixa, com todos os cortes e dobras prontas, faltando apenas as soldas que irão unir as partes que estão separadas e selar as frestas que estão presentes entre as dobras para que não haja nenhum espaço para o ruído sair. Um lado da caixa é separado, devido à dificuldade que o operador teria no momento da dobra, caso a caixa fosse feita por uma peça inteira.



Figura 11: Protótipo com suas chapas cortadas e dobradas, aguardando o processo de solda.

Em seguida, inicia-se o processo de solda com o equipamento que realiza o processo MIG, da marca ESAB.

Primeiramente é realizado o ponteamento das arestas da caixa, para facilitar o alinhamento dos cordões de solda nas arestas da caixa, bem como, ter a garantia de que os lados soltos da caixa não irão se mover durante o processo de soldagem.

Abaixo, imagem das frestas já soldadas, antes de ser realizado o processo de solda da parte que está separada.



Figura 12: Início da montagem do protótipo, com uma de suas arestas já soldada.

Abaixo, imagem da estrutura do protótipo com todas as arestas soldadas, faltando apenas a solda dos apoios para colocar os pés de borracha e a solda das dobradiças da tampa.



Figura 13: Arestas do protótipo soldadas, faltando apenas os apoios para os pés de borracha e as dobradiças para a fixação da porta.

Em seguida é realizada a instalação dos apoios para os pés de borracha e das dobradiças para a fixação da tampa. Bem como o sistema de fechadura da caixa, com um encaixe simples, porém requerendo uma grande força para fechar. Dando assim a garantia de aperto e total isolamento da caixa. A ideia inicial, era utilizar um sistema de fechadura de quadro de energia residencial, mas com uma melhor análise e opiniões de colegas e do orientador, foi decidido a fabricação de uma fechadura própria, para que o protótipo não tivesse nenhum tipo de furo ou fresta, onde poderia ocorrer a passagem de ruído.

Abaixo, imagem dos apoios para os pés de borracha, soldados na caixa e em sequência, sistema da fechadura da tampa.



Figura 14: Fundo da caixa, com os apoios para os pés de borracha, soldados.



Figura 15: Caixa fechada, com o sistema de fechadura em funcionamento, dando o aperto necessário para não haver a saída de ruídos.

Na sequência, para dar acabamento, uma melhor impressão estética, e não haver o perigo de se machucar no manuseio do protótipo, todos os cordões de solda são desbastados, usando uma lixadeira manual com disco de desbaste.

Dando seguimento à montagem do protótipo, nos seus seguintes passos, inicia-se a colagem das camadas de lã de vidro, espuma de poliuretano, borracha que fará o selamento da porta e por fim, os pés de borracha para realizar o isolamento de vibrações.

A fixação das mantas e espumas é feita com adesivo de contato em bisnaga, vulgarmente conhecido como cola de sapateiro.

Há uma grande dificuldade em fixar a manta de lã de vidro no aço, devido a sua textura. Já a espuma de poliuretano adere mais facilmente à lã e ao aço.

Abaixo, imagem mostra o processo de instalação das camadas internas, com os pés de borracha já instalados, faltando apenas as outras camadas de espuma de poliuretano e a borracha da porta.



Figura 16: Finalização da montagem do protótipo. No fundo, camada de espuma de poliuretano e nas laterais manta de lã de vidro.

Abaixo, imagem do protótipo com todas as camadas de material isolante instalado, bem como a borracha que faz o selamento da porta, no momento da foto, presa com grampos para garantir a fixação da borracha.



Figura 17: Protótipo finalizado, com todas as camadas de material isolante.

Não houve grande dificuldade na montagem do protótipo com relação a estrutura de aço, visto que o projeto foi seguido à risca. Entretanto, no momento da instalação das camadas internas isolantes, houveram alguns imprevistos, como a dificuldade de aderência da cola com a manta de lã de vidro e o fato da borracha que faz o selamento da porta estar um pouco desgastada e torta, por isso foram utilizados os grampos para garantir que a cola iria aderir a borracha.

9 DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO DE RUÍDO COM O DECIBELÍMETRO

Para a realização dos ensaios, foram determinados alguns padrões de medição, para que a diferença entre os dados fosse somente da mudança de opção de aferimento e não da distância entre o equipamento medidor e da fonte do ruído, ou mesmo o tempo de medição.

A distância entre o decibelímetro e a fonte do ruído foi, para todos os ensaios, de 1 metro. E o tempo de aferição do ruído, também em todos os ensaios, foi de 30

segundos, que de acordo com o manejo do equipamento, foi o tempo em que houve uma estabilização da medida aferida.

O ensaio se constituiu em gerar o ruído, por meio do aplicativo para celular de nome Tone Generator, da empresa tmsoft.com. Visto que a caixa de som do celular não geraria um ruído muito alto, foram utilizadas, para obter uma amplificação sonora mais efetiva, as caixas de som Ferox, da marca Razer. Tais amplificadores sonoros tem um sistema de som omnidirecional, onde se obtêm, teoricamente, a mesma dissipação sonora em qualquer direção em torno das caixas. Deixando assim o teste mais preciso, caso fossem utilizadas caixas de som unidirecionais.

Com o ensaio realizado com a porta da cabine aberta, visa-se simular o enclausuramento parcial da máquina. Onde existe uma grande redução do ruído, porém não totalmente.

Os testes foram realizados de quatro formas, são elas:

- Com as caixas de som fora da cabine;
- Com as caixas de som dentro da cabine, com a porta da cabine aberta e a aferição defronte à cabine;
- Com as caixas de som dentro da cabine, com a porta da cabine fechada e a aferição defronte à cabine;
- Com as caixas de som dentro da cabine, com a porta da cabine fechada e a aferição na parte de trás da cabine, de forma oposta à sua porta.

Abaixo, imagem da realização de um dos ensaios, mostrando o celular conectado às caixas de som.



Figura 18: Ensaio realizado do lado de fora da cabine. Imagem mostra celular conectado às caixas de som.

A opção de medida que o aplicativo Tone Generator fornece é a de regulação de frequência e intensidade sonora.

Nesses quatro formatos de ensaios, foram feitos testes com três frequências distintas: 1000Hz, 2000Hz e 3000Hz

Abaixo, as tabelas mostram os resultados dos testes das 3 frequências e nas 4 modalidades.

Tabela 4: Dados obtidos pelos testes realizados com frequência de 1000Hz.

	Frequência (Hz)	Intensidade sonora (dB(A))	Tempo de aferição (Segundos)	Distância entre fonte e receptor (Metros)
Sem cabine	1000	93,1	30	1
Cabine com porta aberta	1000	88,7	30	1
Cabine com porta fechada e aferição frontal	1000	63,8	30	1
Cabine com porta fechada e aferição traseira	1000	63,7	30	1

Tabela 5: Dados obtidos pelos testes realizados com frequência de 2000Hz.

	Frequência (Hz)	Intensidade sonora (dB(A))	Tempo de aferição (Segundos)	Distância entre fonte e receptor (Metros)
Sem cabine	2000	93,1	30	1
Cabine com porta aberta	2000	87,9	30	1
Cabine com porta fechada e aferição frontal	2000	62,6	30	1
Cabine com porta fechada e aferição traseira	2000	62,6	30	1

Tabela 6: Dados obtidos pelos testes realizados com frequência de 3000Hz.

	Frequência (Hz)	Intensidade sonora (dB(A))	Tempo de aferição (Segundos)	Distância entre fonte e receptor (Metros)
Sem cabine	3000	93,5	30	1
Cabine com porta aberta	3000	88,3	30	1
Cabine com porta fechada e aferição frontal	3000	63,1	30	1
Cabine com porta fechada e aferição traseira	3000	63,0	30	1

Nota-se uma grande semelhança entre as frequências aferidas nas mesmas modalidades. Contudo, entre as modalidades, há uma visível redução de ruído, conforme os ensaios vão se executando. Na sequência, tem-se o gráfico com a comparação dos dados aferidos.

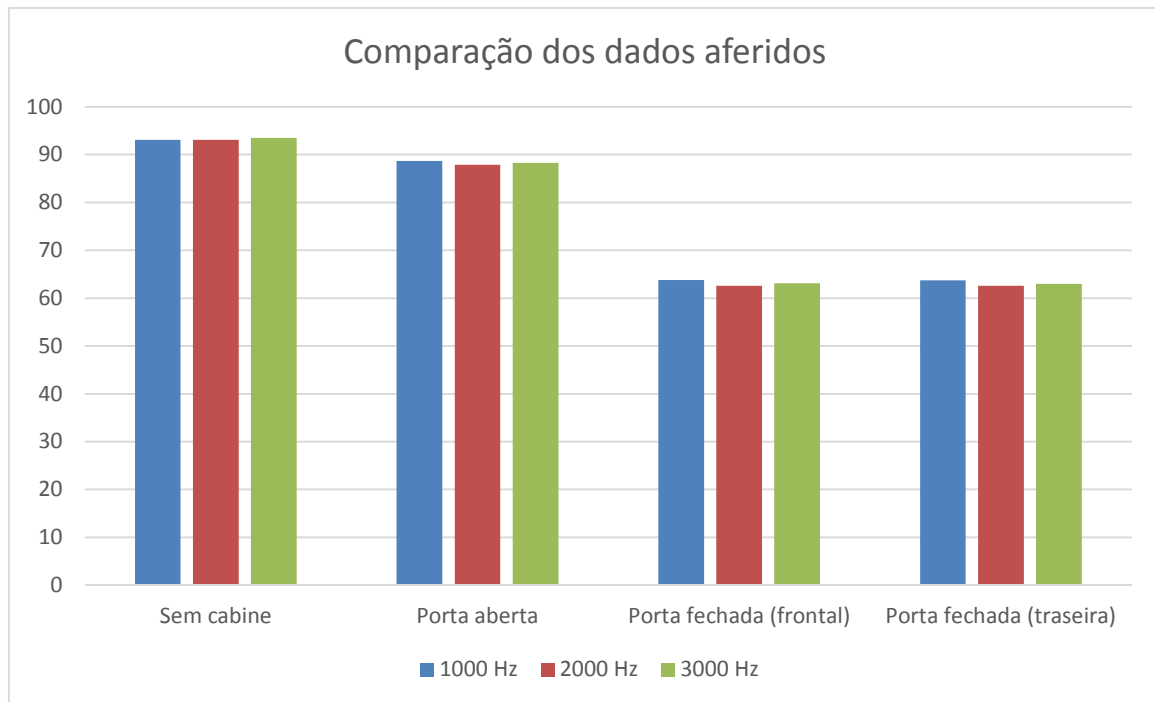


Figura 19: Gráfico demonstrando comparação dos dados aferidos.

10 CONCLUSÃO

Com os ensaios realizados, pode-se concluir que existe um funcionamento efetivo do protótipo da cabine acústica. A intenção inicial do trabalho era realizar os ensaios com a simulação sonora dos ruídos reais provenientes de vários tipos de maquinários. Porém, não foi possível encontrar um aplicativo que fizesse exatamente o serviço desejado. Foi então, utilizado um aplicativo que gera ruídos altos o suficiente para deixar clara a diferença no emprego do enclausuramento de máquinas.

As simulações atenderam as expectativas quanto ao funcionamento do protótipo. Caso o protótipo em escala reduzida fosse um requerimento para a construção de uma cabine em tamanho real, muito provavelmente a construção de tal cabine ocorreria, visto que o protótipo atendeu as expectativas e as realizações dos ensaios foram de grande êxito.

Os dados obtidos resultaram em uma redução de ruído de até 33%. O que nos leva a considerar a superioridade e similitude, não levando em conta o custo de fabricação e produção, do uso do enclausuramento de máquinas sobre o uso de EPI's.

Visto que o enclausuramento da máquina realiza a atenuação dos ruídos provenientes dessa fonte, para o ambiente como um todo, recomenda-se a implantação de tal sistema, no lugar do uso de equipamentos de proteção individual, ou ainda em adição a esses. Uma vez que, o uso dos EPI's, muitas vezes, seja por serem usados de forma inadequada ou por descumprimento por parte da empresa em fornecer o equipamento, gera problemas irreparáveis para o usuário ou funcionário, como também para a empresa que pode sofrer algum tipo de processo ou ação legal, por parte do funcionário afetado.

11 BIBLIOGRAFIA

ASHBY, Michael – JOHNSON, Kara. **Materiais e Design: arte e ciência da seleção de materiais no design do produto**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

BISTAFA, SYLVIO R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.

FALCÃO BAUER, L. A. **Materiais de construção 2**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

HALLIDAY – RESNICK – KRANE. **Física 2**. 4. ed. LTC. 1996.

MACEDO, R. B. **Segurança, saúde, higiene e medicina do trabalho**. Curitiba: IESDE Brasil, 2012.

MATTOS, Ubirajara - MÁSCULO, Francisco. **Higiene e segurança do trabalho para engenharia de produção**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

MORAES, Giovanni. **Novo PPP e LTCAT comentado e ilustrado**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Gerenciamento Verde e Livraria Virtual, 2011.

MOUSSALLE, Sérgio. ... [et al]. **Guia prático de otorrinolaringologia: anatomia, fisiologia e semiologia**. Porto Alegre: EDIPICRS, 1997.

RAMALHO JUNIOR, Francisco. **Os fundamentos da física**. 9. Ed. volume 2. São Paulo: Moderna, 2007.

REGIS FILHO, G. I. ... [et al]. **Ergonomia aplicada à odontologia: as doenças de caráter ocupacional e o cirurgião-dentista: produtividade com qualidade de vida no trabalho**. Curitiba: Editora Maio, 2004.