



## **GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO AMBIENTAL DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GMA**

### **AValiação da Eficiência de Ressonadores de Helmholtz na Mitigação do Ruído Gerado por Subestações de Energia Elétrica**

**JULIANO WAGNER DARONCH(1); MATEUS DA SILVA(1); ADEMILSON SETTI(1); CHARLES LEONARDO ISRAEL(1); LEONARDO CASTILHOS DE OLIVEIRA(1); ROBERTO ARNT TARRAGO(2); DIEGO DARCI LANGARO(1)  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO(1); CEEE-GT(2)**

#### **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho acústico de dois modelos de ressonadores de Helmholtz, construídos como blocos de concreto, vislumbrando uma possível utilização em subestações de energia elétrica. Cada modelo de ressonador foi utilizado para construir paredes de aproximadamente 4,5 m<sup>2</sup>, as quais foram submetidas a testes experimentais utilizando uma fonte sonora omnidirecional e um sonômetro, posicionados em lados opostos em relação à barreira acústica. As duas configurações citadas foram comparadas com uma barreira de referência, construída com tijolos convencionais. Observou-se que uma das barreiras de ressonadores de Helmholtz teve um desempenho na mitigação de ruído superior às demais.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Perda por inserção, transformador de potencial, conforto acústico, barreiras acústicas, ressonador de Helmholtz

#### **1.0 INTRODUÇÃO**

Frente ao crescimento populacional, regiões até então desabitadas estão se tornando cada vez mais residenciais. No Brasil, teve-se um aumento de 194 milhões de pessoas em 2010 para 211 milhões em 2020 [1]. Desta forma, as cidades vão se expandindo geograficamente, assim as subestações de energia elétrica acabam sendo envolvidas por residências, podendo gerar diversos inconvenientes à saúde das pessoas.

Conforme a Organização Mundial da Saúde (OMS), o nível de ruído recomendável para o aparelho auditivo humano é de até 50 decibéis (dB) [2]. A exposição a níveis superiores, por longos períodos, podem causar distúrbios do sono, estresse, perda da capacidade auditiva, alteração do humor, entre outros.

Nas subestações de energia elétrica, existem diversos equipamentos que podem ser considerados fontes de ruído acústico. Por este motivo, as concessionárias necessitam mensurar o ruído produzido dentro das mesmas, e se for o caso, aplicar medidas de mitigação.

Dentre os equipamentos presentes nas subestações, aqueles que mais contribuem com o ruído acústico são os transformadores de energia elétrica, que através da magnetostrição do seu núcleo ferromagnético, produzem um ruído de baixa frequência. Os transformadores também necessitam de ventilação forçada para evitar aquecimentos, o que também gera ruído.

Com o intuito de amenizar este problema, uma das soluções pensadas foi a construção de barreiras acústicas no caminho do ruído, entre emissores e receptores, as quais possibilitam a alteração de parâmetros como reflexão, difração, transmissão e absorção sonora. Isso permite adequar os níveis de ruído às regras presentes nas normas vigentes.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da utilização de duas barreiras acústicas, construídas a partir de dois modelos diferentes de ressonadores de Helmholtz, os quais possuem geometrias construtivas similares à blocos de concreto.

A justificativa para utilização de tais ressonadores como matéria-prima na construção de barreiras, se dá devido aos materiais acústicos comercialmente disponíveis não apresentarem durabilidade satisfatória quando submetidos às intempéries de ambientes externos. Além disso, é possível alterar os parâmetros de projeto dos ressonadores facilmente, fazendo com que os mesmos atenuem diversas frequências sonoras.

#### **2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Abordar-se-á nesta seção conceitos sobre ruído, formas de propagação, frequência, comprimento de onda, fontes sonoras, barreiras acústicas e os ressonadores de Helmholtz.

## 2.1 Som e Ruído

Conceitualmente o som pode ser entendido como uma sensação produzida no sistema auditivo. Já o ruído, é em geral, um som indesejável. Sons são vibrações das partículas do ar que se propagam a partir de estruturas vibrantes, podendo ser caracterizados como a diferença de pressão causada por estas estruturas, promovendo um aumento na agitação das moléculas. A onda longitudinal de pressão, oriunda da fonte sonora, toma o nome de onda sonora. A menor variação de pressão ambiental detectável pelo sistema auditivo é na ordem de  $2 \times 10^{-5}$  Pa e chama-se limiar da audição, porém, para que esta variação na pressão possa ser detectada, a mesma deve ocorrer de forma cíclica [3].

## 2.2 Frequência e Comprimento de Onda

O número de vezes em que uma onda sonora completa seus ciclos de vibração em um segundo denomina-se frequência. A unidade, no Sistema Internacional (SI), empregada para medir a frequência da onda sonora é o hertz (Hz) [4]. O ouvido humano é capaz de distinguir sons na faixa de frequência compreendida entre 20 Hz e 20 kHz, sendo que, frequências baixas geram sons graves, enquanto frequências altas geram sons agudos. O inverso da frequência, isto é, o tempo necessário para gerar uma onda completa, toma o nome de período. O quociente entre a velocidade de propagação do som e a frequência nos dá o comprimento de onda, sendo na ordem de metros para sons graves e de cm para sons agudos, ambos propagando-se no ar.

Em acústica, os equipamentos de medição são calibrados para medir determinadas frequências, dentre as quais estão: 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz, 1 kHz, 1,25 kHz, 1,6 kHz, 2 kHz, 2,5 kHz, 3,15 kHz, 4 kHz, 5 kHz, 6,3 kHz, 8 kHz, e 10 kHz [5].

Além de não ouvir todas as frequências sonoras, o ouvido humano têm percepções diferentes para cada variação de pressão sonora, gerando assim diferentes linhas isofônicas, as quais estão representadas na Figura 1 [6]. A mesma indica que o ouvido humano é menos sensível para baixas frequências, necessitando de uma variação de pressão sonora maior para que haja percepção. Os equipamentos de medição acústica utilizam diversas ponderações, entre elas a ponderação A, que se assemelha à percepção do ruído pelo ouvido humano, e a ponderação Z, que apresenta uma sensibilidade constante para todas as frequências.

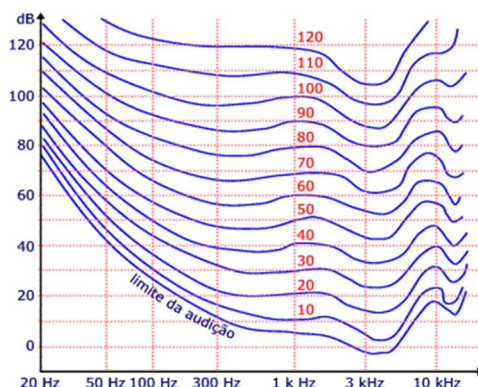


Figura 1 - Linhas isofônicas [6].

## 2.3 Fontes Sonoras

Sons e ruídos são gerados por diversos mecanismos, desde que estes, como já mencionado anteriormente, produzam vibrações cíclicas. Quando o comprimento de onda é muito maior que a dimensão da fonte sonora, as ondas geradas são ondas esféricas, porém, quando o comprimento de onda é da ordem da dimensão da fonte ou menor, a radiação sonora da fonte tende a ser direcional. Isso significa que, nas altas frequências (pequenos comprimentos de onda), a fonte apresentará direções preferenciais de radiação sonora [3]. Como exemplo, na Figura 2, pode ser observado o campo sonoro no entorno de um transformador de energia elétrica.

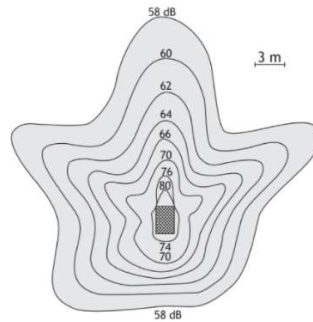


Figura 2 - Contorno de mesmo nível de pressão sonora em um transformador de energia elétrica [3].

Quando a distância entre a fonte sonora e o receptor for muito maior que o tamanho da própria fonte, assumindo que as condições de propagação das ondas sonoras, de diferentes partes da fonte até o receptor, são as mesmas, esta pode ser considerada uma fonte sonora pontual [3].

#### 2.4 Barreiras Acústicas

Todo problema de controle de ruído inclui uma fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor. As barreiras acústicas influenciam na trajetória de transmissão da onda sonora e a eficiência da barreira é medida através do parâmetro perda por inserção (IL). A IL representa a diferença entre o valor do ruído medido antes e após a inserção de uma barreira acústica [7].

#### 2.5 Medição acústica

Para executar medições acústicas com confiabilidade, inicialmente o sonômetro precisa estar calibrado e posteriormente deve ser verificado. Para fazer isto, é necessário um calibrador acústico, que gere ondas sonoras na frequência de 1 kHz com pressões sonoras de 94 dB ou 114 dB.

Após a verificação, o mesmo deve ser posicionado para medição, em [5] recomenda-se uma altura entre 1,2 m e 1,5 m em relação ao nível do solo. Também é recomendada uma distância mínima de 2 m de paredes, muros, veículos e outros objetos que possam refletir ondas sonoras.

Antes de iniciar efetivamente qualquer medição, configura-se o sonômetro, seu tempo de integração, ponderação A, B, C ou Z, nível de pressão sonora (NPS) equivalente ou proporcional nas bandas de 1/1 ou 1/3 de oitava, entre outros parâmetros.

Ao concluir a medição é necessário verificar o nível de pressão sonora com o calibrador acústico acoplado ao microfone do sonômetro, não podendo ser verificada uma variação de mais ou menos 0,5 dB do nível medido anterior a medição [5]. Caso ocorra uma variação superior à indicada, descartam-se os dados levantados e inicia-se nova rodada de medições.

#### 2.6 Ressonadores de Helmholtz

Os ressonadores de Helmholtz são sistemas absorvedores acústicos, baseados no princípio de dissipar energia em torno de uma frequência de ressonância, a qual é função das características geométricas do sistema [8]. Os mesmos são formados, basicamente, por um volume de ar  $V$ , que é conectado a uma abertura de seção  $A$  através de um gargalo de comprimento  $L$ , como pode ser visto na Figura 3.

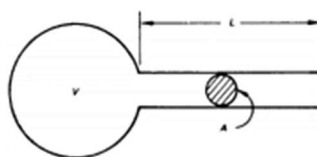


Figura 3 - Representação de um ressonador de Helmholtz [9].

Quando as ondas sonoras incidem na abertura A, o ar presente dentro do ressonador entra em vibração em certa frequência de ressonância, dissipando parte da energia sonora [8].

A frequência de oscilação do ar no ressonador de Helmholtz pode ser calculada através da equação 1, onde  $f$  representa a frequência de ressonância [Hz],  $c$  o comprimento de onda [m],  $A$  indica a área do gargalo [m<sup>2</sup>],  $V$  o volume de ar [m<sup>3</sup>] e  $L$  o comprimento do gargalo [m].

$$f = \frac{c}{2 * \pi} * \sqrt{\frac{A}{V * L}} \quad \text{eq. (1)}$$

### 3.0 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento dos testes experimentais, foram executadas medições acústicas em três barreiras, sendo uma delas construída com tijolos convencionais maciços e as outras duas, com ressonadores de Helmholtz. Todos os instrumentos utilizados nos testes foram devidamente calibrados por laboratórios acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia 'INMETRO', sendo então, membros da Rede Brasileira de Calibração 'RBC' e atendendo com isso a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025.

Antes de cada série de medições o sonômetro foi verificado, utilizando-se para tal o calibrador sonoro, configurado com 94 dB de pressão sonora e 1 kHz de frequência, acoplado ao microfone, o qual não estava coberto pelo protetor de vento neste instante. O valor indicado no certificado de calibração do calibrador sonoro serviu de referência, aplicando-se a devida correção para o tipo de microfone utilizado. Tomou-se o devido cuidado para não registrar resultados de medição de nível sonoro afetados por sons intrusivos, fora da faixa útil do sonômetro.

Após cada série de medições ser finalizada, mensurou-se novamente o nível de pressão sonora com o calibrador ligado e acoplado ao microfone, observando-se que a diferença entre a leitura e o valor ajustado inicialmente não se mostrou superior a 0,5 dB, nem inferior a -0,5 dB. Neste caso nenhum resultado de medição foi descartado.

A fonte sonora também foi verificada, posicionando-a a 4 m de distância do sonômetro, sem as barreiras acústicas na trajetória do ruído. Para tal, a mesma foi configurada para produzir um ruído rosa, utilizado em todos os testes como padrão, com nível sonoro de 70 dB na frequência de 125 Hz, a qual encontra-se mais próxima ao ruído de 120 Hz produzido pelos transformadores de alta tensão nas subestações de energia elétrica.

O fluxograma apresentado na Figura 4, permite visualizar melhor a cronologia de execução dos testes. Inicialmente, antes de qualquer mensuração acústica, os pré-testes foram executados, os quais permitiram garantir a confiabilidade do sonômetro, em relação aos valores reportados, e da fonte sonora. Dois conjuntos de testes, 'Teste 1' e 'Teste 2', foram planejados, cada qual com suas respectivas condições de contorno. Para o conjunto 'Teste 1', formado por três barreiras acústicas, posicionou-se tanto fonte sonora quanto sonômetro, a uma distância de 2 m das barreiras. Já no grupo 'Teste 2', alterou-se a distância da fonte sonora e do sonômetro até às barreiras para 3 m.

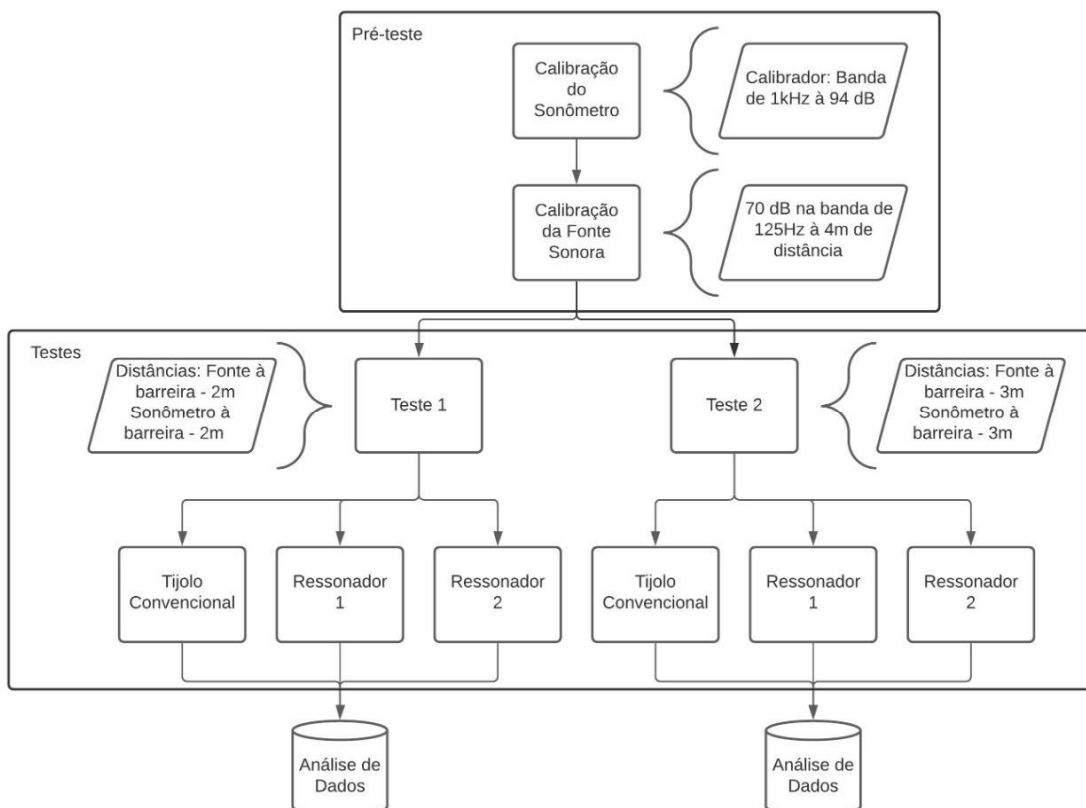


Figura 4 - Fluxograma das etapas de realização dos ensaios.

Em relação às barreiras, aquela de tijolos convencionais maciços (Tijolo Convencional), foi construída com 1,67 m de altura, 2,78 m de largura e 0,22 m de espessura, o que pode ser visto na Figura 5. A mesma foi utilizada como referência (padrão) para verificar a eficiência dos ressonadores de Helmholtz, utilizando o parâmetro perda por inserção IL para tal.



Figura 5 - Parede convencional posicionada para ensaio.

As outras duas barreiras, Ressonador 1 e Ressonador 2, construídas com os dois tipos de ressonadores, R1 vinculado a barreira Ressonador 1 e R2 aquela chamada de Ressonador 2, mantiveram as dimensões da barreira de alvenaria, a fim de melhor caracterizar os valores encontrados nos ensaios. Uma das geometrias testadas para os ressonadores, R1, possui cavidade interna simples, já aquela de R2 conta com reforços em formato de nervura e pescoço de entrada na cavidade reforçada. Os ressonadores podem ser visualizados nas Figuras 6 (a) e (b).



(a)



(b)

Figura 6 - R1 (a) e R2 (b).

A barreira acústica demonstrada na Figura 7 foi construída com o ressonador de Helmholtz R1.





Figura 7 - Barreira acústica utilizando o ressonador R1.

Na sequência, Figura 8, apresenta-se a parede construída a partir do ressonador R2.



Figura 8 - Barreira acústica montada com o ressonador R2.

As barreiras acústicas montadas com ressonadores apresentam algumas irregularidades nas suas extremidades laterais e ficam abertas no topo. Ainda, para a construção das mesmas, o material utilizado para a fixação dos blocos foi massa tapa furo, a qual tem uma ótima velocidade de cura se comparada ao concreto.

#### 4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a conclusão dos testes, analisou-se as perdas por inserção proporcionadas por cada uma das três barreiras (Ressonador 1, Ressonador 2 e Tijolo Convencional).

Os resultados obtidos no conjunto de ensaios 'Teste 1', caracterizados pela fonte sonora e sonômetro a 2 m de distância das barreiras, podem ser vistos no gráfico da Figura 9.

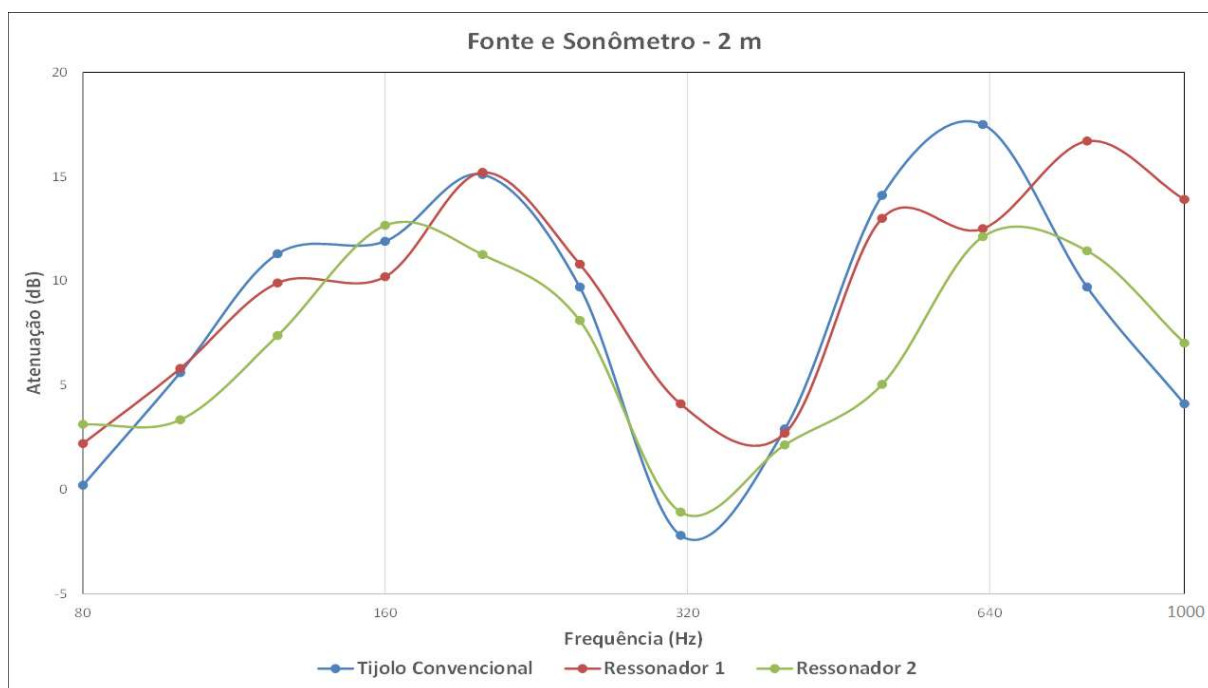


Figura 9 - Perda por inserção Teste 1.

O gráfico acima, apresenta no eixo x as frequências de interesse, maiores ou iguais a 80 Hz e menores ou iguais a 1000 Hz. No eixo y, encontram-se os níveis de perdas por inserção, associados a cada uma das barreiras, as quais

são identificadas na legenda. Tais frequências são ditas de interesse, pois, o núcleo magnético dos transformadores possui frequência característica de 120 Hz, compreendendo assim, a frequência de excitação dos mesmos e suas harmônicas. Além disso, as frequências de excitação devido a ventilação forçada nos transformadores também encontram-se dentro desta faixa.

O conjunto 'Teste 1' indicou certa semelhança no desempenho das três barreiras, em relação a perda por inserção gerada por cada uma. Para algumas frequências, os ressonadores R1 e R2 levam ligeira vantagem em relação aos tijolos maciços, porém nada que justifique o seu uso para tal finalidade. Ressalta-se que tais afirmações são válidas quando os posicionamentos do receptor (pessoas/sonômetro) e do emissor (transformadores/fonte sonora) forem similares aos atribuídos para este conjunto de ensaios.

Ainda, nota-se no gráfico da Figura 9, que uma maior diferença na atenuação ocorre na frequência de 630 Hz, onde a barreira Tijolo Convencional atenuou 17,5 dB, enquanto as Ressonador 1 e Ressonador 2 tiveram uma resposta parecida, atenuando 12,5 dB e 12,12 dB, respectivamente. Na frequência de 315 Hz verificou-se um nível de pressão sonora maior utilizando-se as barreiras (atenuação negativa), do que sem elas.

Com a configuração definida para o conjunto 'Teste 2' um novo comportamento do perfil de atenuação pôde ser observado. Isso pode ser verificado, de forma visual, a partir da Figura 10.

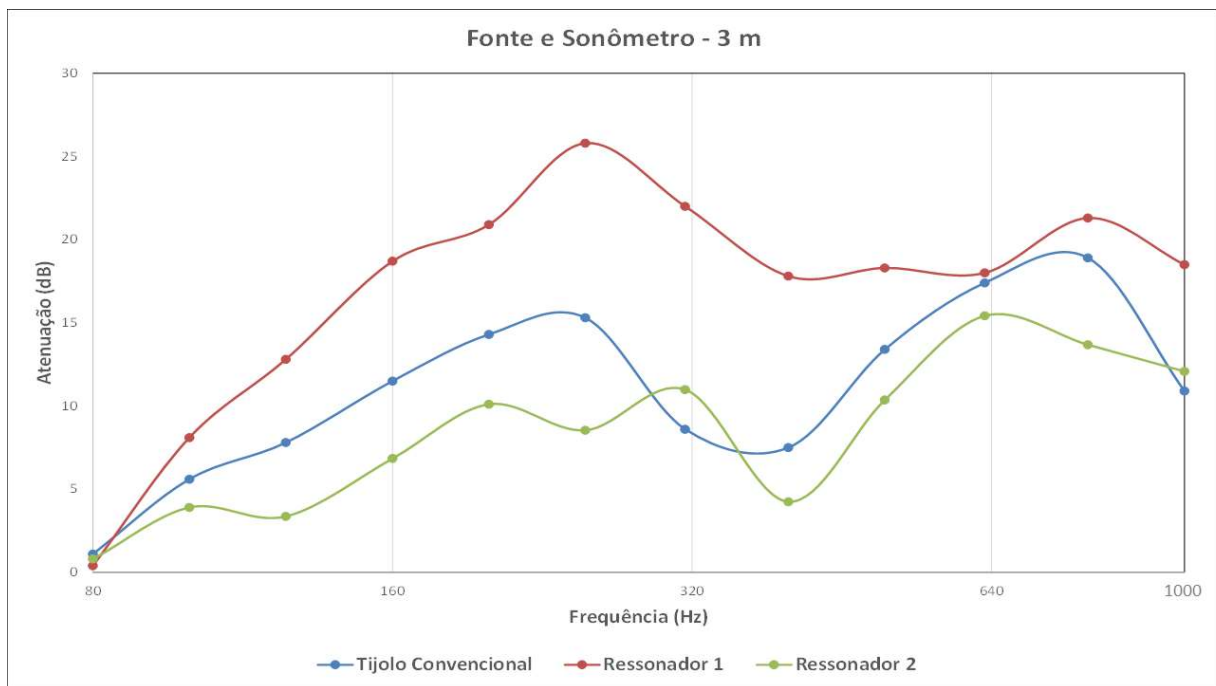


Figura 10 - Perda por inserção Teste 2.

Nota-se que a parede Tijolo Convencional, na frequência de 250 Hz, atenuou 15,3 dB do ruído produzido pela fonte sonora, enquanto que aquela indicada como Ressonador 2, atenuou apenas 8,54 dB. O mesmo comportamento entre estes dois tipos de parede pode ser observado na maior parte das frequências testadas, tendo uma leve mudança nas magnitudes de mitigação. A parede Ressonador 2 somente apresentou um ganho na atenuação em relação a barreira Tijolo Convencional em duas faixas de frequências, 315 Hz e 1000 Hz, atenuando 10,98 dB e 12,08 dB, respectivamente, mostrando-se mais eficiente nestes casos.

Nestes ensaios, a parede Ressonador 1 apresentou uma eficiência na atenuação maior do que as demais barreiras testadas. A mesma conseguiu gerar uma perda por inserção elevada para a frequência de 250 Hz, na ordem de 25,8 dB. Ao longo de todas as frequências compreendidas no intervalo de 100 Hz até 500 Hz, a parede Ressonador 1 teve uma resposta satisfatória, demonstrando maior eficiência de aplicação. Ainda é possível observar que, acima da frequência de 630 Hz, a mesma se comporta de maneira similar a barreira Tijolo Convencional, não apresentando ganhos significativos na perda por inserção. Isso indica uma faixa de frequências potenciais para a utilização desta barreira, e consequentemente do ressonador de Helmholtz R1, projetado e desenvolvido para este trabalho.

Os resultados supracitados permitem verificar que há um grande potencial de utilização para os ressonadores, podendo haver variações de desempenho devido aos parâmetros definidos no projeto dos mesmos. Trabalhos estão sendo desenvolvidos em paralelo a este, a fim de melhorar ainda mais a capacidade de atenuação de ruído que os mesmos apresentam.

## 5.0 CONCLUSÃO

Barreiras acústicas são consideradas soluções para a mitigação de ruído, sendo aplicadas geralmente após o surgimento de algum problema. Comunidades expostas a ruídos acima dos limites tolerados e indicados em normas, provenientes de fontes sonoras diversas, podem ser beneficiadas com a utilização de tais meios paliativos, melhorando dentre outras coisas a qualidade de vida das pessoas.

O estudo permitiu constatar que os ressonadores de Helmholtz apresentam-se como uma alternativa viável para construção de barreiras acústicas, sendo a eficiência na mitigação de ruído dependente de questões vinculadas ao projeto dos mesmos e a posição da parede em relação à fonte sonora.

Os ensaios 'Teste 1' mostraram que as três configurações de barreiras comportam-se de maneira similar quando a distância 'barreira/fonte sonora' é pequena, tendo leve vantagem na atenuação acústica a barreira 'Tijolo Convencional'. Com o aumento da distância 'barreira/fonte sonora' evidencia-se o funcionamento mais eficiente da barreira 'Ressonador 1', construída com o bloco R1. O ressonador R2, utilizado para construção da barreira 'Ressonador 2', não apresentou um bom desempenho, se comparado com os demais, devido a sua geometria interna. A forma da cavidade interna do ressonador impacta diretamente em seu funcionamento, sendo a principal responsável pelas variações de desempenho entre os ressonadores R1 e R2. O Quadro 1 permite observar melhor o exposto acima.

O mesmo quadro sintetiza ainda as maiores perdas por inserção IL para as frequências de interesse, quando as barreiras são aplicadas em subestações de energia, devido a principal fonte de ruído ser o transformador de energia. Observa-se que as maiores magnitudes de atenuação, são obtidas utilizando o ressonador R1 como elemento construtivo da barreira, a uma distância de 3 m em relação a fonte de ruído. Na frequência de 250 Hz tal barreira chegou a atenuar 25,8 dB.

		Barreiras acústicas		
		Tijolo Convencional	Ressonador 1	Ressonador 2
Maior Atenuação nos Ensaios Teste 1		X		
Maior Atenuação nos Ensaios Teste 2			X	
Melhor Desempenho Geral			X	
Magnitude de Atenuação (dB) - 125 Hz	Teste 1	11,3	9,9	7,38
	Teste 2	7,8	12,8	3,36
Magnitude de Atenuação (dB) - 160 Hz	Teste 1	11,9	10,2	12,66
	Teste 2	11,5	18,7	6,84
Magnitude de Atenuação (dB) - 200 Hz	Teste 1	15,1	15,2	11,26
	Teste 2	14,3	20,9	10,1
Magnitude de Atenuação (dB) - 250 Hz	Teste 1	9,7	10,8	8,1
	Teste 2	15,3	25,8	8,54
Magnitude de Atenuação (dB) - 315 Hz	Teste 1	-2,2	4,1	-1,08
	Teste 2	8,6	22	10,98
Magnitude de Atenuação (dB) - 400 Hz	Teste 1	2,9	2,7	2,14
	Teste 2	7,5	17,8	4,24

Quadro 1 - Síntese dos resultados mais relevantes.

Para estudos futuros, recomenda-se criar barreiras de ressonadores mais largas e mais altas, aumentando assim a área de influência na trajetória da onda sonora. Além disso, pode-se testar diferentes configurações de topo para as mesmas. É possível estudar ainda, os materiais que compõem o ressonador e seus parâmetros de projeto, buscando proporcionar uma atenuação ainda maior em uma determinada frequência de interesse.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



[1] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Projeção da população do Brasil. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>>. Acesso em: 06 de agosto de 2021.

[2] ESPECIAL Cidadania. Biblioteca Digital do Senado Federal, 2013. Disponível em: <<https://www.senado.gov.br/noticias/jornal/cidadania/PoluicaoSonora/not03.htm>>. Acesso em: 06 de agosto de 2021.

[3] BISTAFA, Sylvio R. Acústica aplicada ao controle de ruído. 1. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2018.

[4] COSTA, Ennio Cruz da. Acústica Técnica. 1. Ed. São Paulo: Blucher, 2003.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2019.

[6] MSPC (2018). Curvas de audibilidade. Disponível em <<https://www.mspc.eng.br/dir70/somdb3.php>> Acesso em: 09 de agosto de 2021.

[7] Radoi, A(2015). The Establishing of the Insertion Loss of the Noise Barriers, Chapter 16 in DAAAM International Scientific Book 2015, pp.173-188, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, Vienna, Austria.

[8] LISOT, Aline. SOARES, Paulo F. Ressonadores de Helmholtz em barreiras acústicas: avaliação do desempenho na atenuação do ruído de tráfego. Coimbra, 2008.

[9] HANRIOT, Sérgio M. et al. Estudo experimental do ressonador de helmholtz coletor de aspiração de um motor de combustão interna alternativo. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 1999, São Paulo.

#### DADOS BIOGRÁFICOS



Mestrando em Projeto e Processos de Fabricação - Universidade de Passo Fundo  
Engenheiro Eletricista - Universidade de Passo Fundo Pesquisador no LINTEC - UPF a 3  
anos trabalhando com Pesquisa e Desenvolvimento no ramo do setor elétrico

(2) MATEUS DA SILVA  
Mestrando em Projeto e Processo de Fabricação pela UPF  
Engenheiro Mecânico pela UPF Pesquisador no LINTEC a 2 anos trabalhando com P&D no ramo do setor elétrico

(3) ADEMILSON SETTI  
Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Passo Fundo - UPF (2017) e Mestre em Projeto e Processos de Fabricação pelo Programa de Pós Graduação em Projeto e Processos de Fabricação (PPGPPF) da Universidade de Passo Fundo - UPF (2017-2019). Atua como pesquisador em projetos de pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico brasileiro, professor de ensino superior e empreendedor.

(4) DIEGO DARCI LANGARO  
Possui Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade de Passo Fundo - UPF (2009) e Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2013). Atualmente desempenha a função de pesquisador, no Laboratório de Inovação Tecnológica da Universidade de Passo Fundo (LINTEC), além de atuar como professor substituto no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense - IFSUL e no curso de Pós-graduação em Engenharia de Manutenção Industrial da UPF. Tem experiência nas áreas de Engenharia Mecânica, Materiais e Produção, atuando em temas como Metrologia, Ciclo PDCA, Planejamento e Controle da Produção, Controle Dimensional e Geométrico, Hidráulica, Pneumática e Acústica.

(5) CHARLES LEONARDO ISRAEL  
Engenheiro Mecânico pela Universidade de Passo Fundo (2001), mestrado em Engenharia Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS (2005) e doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela UFRGS (2010). Atualmente é Professor Titular II na Universidade de Passo Fundo. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Propriedades Mecânicas dos metais e componentes, atuando nos seguintes temas: ensaios mecânicos, projeto mecânico, desgaste, engenharia biomédica

e metalurgia física. Coordena o LINTEC-UPF e desenvolve projetos de Pesquisa e Desenvolvimento nas áreas de Projetos Mecânicos e Processos de Fabricação.

(6) LEONARDO CASTILHOS DE OLIVEIRA  
Mestrando em Projeto e Processo de Fabricação pela Universidade de Passo Fundo - UPF. Engenheiro Mecânico. Pesquisador no LINTEC a 3 anos trabalhando com P&D no ramo do setor elétrico

(7) ROBERTO ARNT TARRAGO  
Engenheiro Eletricista na Companhia Estadual de Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-T) Engenheiro Eletricista - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) Mestre em Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) Especialista em Gestão Empresarial - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)