



DEGRADAÇÃO ENERGÉTICA DE ONDAS SONORAS DE DIFERENTES FREQUÊNCIAS

ENERGY DEGRADATION OF SOUND WAVES OF DIFFERENT FREQUENCIES

DEGRADACIÓN ENERGÉTICA DE LAS ONDAS SONORAS DE DIFERENTES FRECUENCIAS

 <https://doi.org/10.56238/levv17n58-061>

Data de submissão: 23/02/2026

Data de publicação: 23/03/2026

Júlia Delducca Neto dos Santos Ribeiro

Técnico em Biotecnologia

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

E-mail: juliadelducca13@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/4462125230912986>

Raíssa Freitas dos Santos

Técnico em Biotecnologia

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

E-mail: raissa.freitas.santos@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/9070771383986510>

Laura Machado da Silva Borges

Técnico em Química

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

E-mail: lauramachado.sborges@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/5165443078394472>

Roberto Soares da Cruz Hastenreiter

Doutorado Interunidades em Ensino de Ciências

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

E-mail: roberto.cruz@ifrj.edu.br

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/7714359088611369>

José Sampaio de Oliveira

Doutorado em Geofísica

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

E-mail: jose.oliveira@ifrj.edu.br

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/8629808348018108>

RESUMO

Os mecanismos específicos presentes nos modelos de propagação de ondas sonoras são de interesse de muitas áreas. Nesse sentido, a determinação da degradação de energia do som é fundamental para a produção de conhecimento. Neste trabalho faremos a análise da atenuação da intensidade sonora em função da distância considerando diferentes frequências. Utilizamos uma fonte de 100 Watts RMS em um amplo corredor do IFRJ, Campus Rio de Janeiro, em um momento em que não havia nenhuma

atividade sendo desenvolvida. Assim, avaliamos a intensidade sonora, emitida a partir da fonte, a cada 50,0 centímetros, com um decibelímetro. As medidas de intensidade foram realizadas desde a adjacência da fonte até uma distância de 15,0 metros, totalizado 30 medidas. Utilizamos três frequências diferentes para cada uma das 30 medidas. A primeira com 400 Hertz, a segunda, uma frequência de 1600 Hertz, e, a última no início do espectro considerado agudo para seres humanos, de 3200 Hertz. Esses resultados foram projetados graficamente de maneira a se comparar se a atenuação da intensidade sonora com o distanciamento é dependente da frequência. Realizamos dois ajustes com diferentes funções para cada conjunto de medidas das três frequências a fim comparar se a atenuação pode ser observada nos dois modelos. A partir dessas funções ajustadas, realizamos a comparação na atenuação da intensidade sonora por meio de suas derivadas.

Palavras-chave: Atenuação. Frequência. Intensidade.

ABSTRACT

The specific mechanisms present in sound wave propagation models are of interest to many fields. In this sense, determining the energy degradation of sound is fundamental to the production of knowledge. In this work, we will analyze the attenuation of sound intensity as a function of distance considering different frequencies. We used a 100 Watt RMS source in a wide corridor of the IFRJ, Rio de Janeiro Campus, at a time when no activity was being carried out. Thus, we evaluated the sound intensity emitted from the source every 50.0 centimeters using a decibel meter. Intensity measurements were taken from the vicinity of the source to a distance of 15.0 meters, totaling 30 measurements. We used three different frequencies for each of the 30 measurements. The first was 400 Hertz, the second a frequency of 1600 Hertz, and the last at the beginning of the spectrum considered high-pitched for humans, at 3200 Hertz. These results were graphically projected to compare whether the attenuation of sound intensity with distance is frequency-dependent. We performed two adjustments with different functions for each set of measurements of the three frequencies in order to compare whether attenuation can be observed in the two models. From these adjusted functions, we compared the attenuation of sound intensity using their derivatives.

Keywords: Attenuation. Frequency. Intensity.

RESUMEN

Los mecanismos específicos presentes en los modelos de propagación de ondas sonoras son de interés para muchos campos. En este sentido, determinar la degradación energética del sonido es fundamental para la producción de conocimiento. En este trabajo, analizaremos la atenuación de la intensidad sonora en función de la distancia, considerando diferentes frecuencias. Utilizamos una fuente de 100 vatios RMS en un amplio pasillo del IFRJ, Campus de Río de Janeiro, en un momento en que no se realizaba ninguna actividad. Así, evaluamos la intensidad sonora emitida por la fuente cada 50,0 centímetros utilizando un sonómetro. Las mediciones de intensidad se tomaron desde las proximidades de la fuente hasta una distancia de 15,0 metros, totalizando 30 mediciones. Utilizamos tres frecuencias diferentes para cada una de las 30 mediciones. La primera fue de 400 Hertz, la segunda de 1600 Hertz y la última al inicio del espectro considerado agudo para los humanos, a 3200 Hertz. Estos resultados se proyectaron gráficamente para comparar si la atenuación de la intensidad sonora con la distancia depende de la frecuencia. Realizamos dos ajustes con funciones diferentes para cada conjunto de mediciones de las tres frecuencias con el fin de comparar si se observa atenuación en ambos modelos. A partir de estas funciones ajustadas, comparamos la atenuación de la intensidad sonora utilizando sus derivadas.

Palabras clave: Atenuación. Frecuencia. Intensidad.

1 INTRODUÇÃO

A acústica, enquanto ramo fundamental da física, dedica-se ao estudo dos fenômenos relacionados à geração, propagação e recepção das ondas sonora. O som é compreendido como uma perturbação mecânica no interior de um meio material, sendo gerado quando uma fonte realiza vibrações regulares, capazes de provocar compressões e rarefações no meio ao seu redor. São essas alternâncias de pressão, propagadas sob a forma de ondas longitudinais, que caracterizam o fenômeno sonoro. Por não se propagar no vácuo, a existência do som está condicionada à presença e propriedades de um meio material que influenciam diretamente suas características. A acústica abrange desde princípios físicos da ondulatória até as complexas implicações sociais, ambientais e tecnológicas do som, tornando-se interdisciplinar por excelência.

O conforto acústico em ambientes construídos, por exemplo, depende do domínio desses parâmetros para planejar isolamento, absorção, tempo de reverberação, difusão e o controle de ruídos indesejados. Sem esse conhecimento, auditoria, salas de aula, hospitais, escritórios e até residências poderiam apresentar problemas severos de inteligibilidade, mal-estar sonoro e impactos negativos na qualidade de vida (Brandão, 2011). A modelagem e o projeto de ambientes acústicos tornaram-se um campo especializado, responsável pela integração das recomendações normativas, critérios subjetivos e métodos quantitativos rigorosos. A literatura clássica e contemporânea sobre acústica apresenta uma integração entre conteúdos teóricos e aplicações práticas. Kinsler *et al.* (2000) estabeleceram um marco na sistematização dos princípios das ondas sonoras, fornecendo as bases matemáticas e experimentais para o estudo dos meios de propagação, reflexões sonoras, interferências, fenômenos de ressonância e técnicas de controle de ruído. Já Bistafa (2018) e, Santos *et al.* (2020), compilam soluções de engenharia e análise de ruídos em ambientes industriais e urbanos, descrevendo detalhadamente as práticas de medição, aspectos normativos, fontes de ruído, barreiras acústicas e práticas de controle. A preocupação com a poluição sonora e seus efeitos nocivos ocupa um espaço crescente no debate científico, especialmente nas grandes cidades, onde o crescimento demográfico e a intensificação do tráfego viário, industrial e aéreo elevam exponencialmente a exposição da população ao ruído contínuo. Bressane *et al.* (2010) destaca que a poluição sonora afeta diretamente a saúde auditiva e mental, interfere nas funções cognitivas e no sono, podendo causar distúrbios persistentes. Para mitigar esses efeitos, políticas públicas e normas técnicas vêm sendo aprimoradas e dependem do profundo entendimento dos princípios acústicos e da atuação de especialistas qualificados. No âmbito da percepção sonora e conforto acústico, Hirashima e Assis (2017) relatam como a configuração dos espaços, materiais utilizados e características arquitetônicas alteram a experiência auditiva dos usuários, reforçando a necessidade de abordagem multiprofissional e de recursos instrumentais precisos para o diagnóstico e a proposição de melhorias em ambientes construídos, especialmente em espaços urbanos abertos.

Sob a óptica investigativa de estudantes do nível técnico, o ensino de acústica básica revela-se igualmente estratégico, tanto para a formação de profissionais das ciências exatas quanto para o desenvolvimento de habilidades práticas e cognitivas. Segundo Ferreira *et al.* (2019), sequências didáticas que articulam experimentação, simulação computacional e análise de situações reais contribuem para o desenvolvimento do pensamento crítico, a contextualização dos conteúdos científicos e a compreensão do papel social da ciência. Soares (2018) defendem, ainda, que a utilização de instrumentos musicais como recurso pedagógico dinamiza o ensino dos conceitos acústicos, facilitando a compreensão dos fenômenos vibracionais e a relação desses princípios com a vida cotidiana. Entretanto, poucos trabalhos tratam sobre propriedades específicas da propagação do som, e o tratamento que pode ser dado em um processo investigativo com estudantes do ensino médio de nível técnico.

Neste trabalho propomos um estudo da degradação energética do som para diferentes frequências. O estudo, baseado na experimentação, propõe a emissão de um sinal sonoro senoidal em um ambiente amplo e a medida do nível sonoro registrado com um decibelímetro. Em outras palavras, propomos a construção de função da intensidade sonora registrada com a distância para sons de frequências distintas. Uma vez que os decaimentos das funções ajustadas não são os mesmos, podemos, através deste estudo, determinar qual tipo de som, graves ou agudos, degrada mais energia ao se propagar em um ambiente projetado com arquitetura escolar.

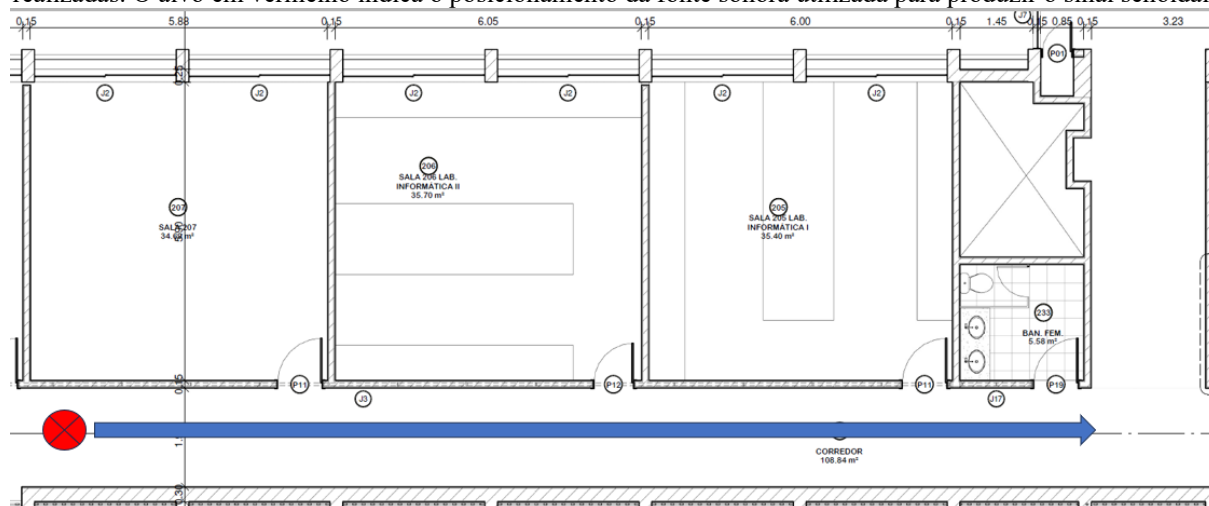
2 OBJETIVO

Neste trabalho objetivamos investigar de forma quantitativa, a partir de mais de um modelo matemático, quais tipos de sons, graves ou agudos, possuem uma maior degradação de energia durante a sua propagação. Em outras palavras, objetivamos determinar quem sofre uma maior atenuação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A aquisição de dados de intensidade sonora para a determinação da atenuação sonora de sons de diferentes frequências foi realizada em um corredor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – IFRJ – Campus Rio de Janeiro. Uma parte da planta do andar do prédio onde se encontra o corredor onde as medidas foram adquiridas pode ser vista na **Figura 1**. As marcações espaciais na planta arquitetônica apresentam os limites das portas das salas de aula e o encontro entre o corredor que liga os dois prédios do Campus.

Figura 1: Planta arquitetônica do corredor, representado pela seta em azul, onde as medidas de intensidade sonora foram realizadas. O alvo em vermelho indica o posicionamento da fonte sonora utilizada para produzir o sinal senoidal.



Fonte: Autores.

Utilizamos como fonte sonora uma caixa de som portátil de intensidade máxima 100 Watts RMS que foi colocada centralizada no corredor conforme marcação na **Figura 1**. A fonte com potência em RMS – *Root Mean Square* – garante que não ocorrem picos de intensidade sonora emitida. Ainda como forma de assegurar a intensidade máxima da fonte durante toda o processo de medição a fonte estava ligada na tomada para não ocasionar redução de intensidade por diminuição de carga da bateria. Para esse processo investigativo aplicamos na fonte três sinais senoidais de frequências diferentes. Utilizamos as frequências de 400 Hertz, considerado como som grave, e a frequência de 3200 Hertz como agudo. Para assegurar que os resultados encontrados não são coincidência, e para reforçar as conclusões, utilizamos, ainda, um sinal de 1600 Hertz para fronteira entre som grave e agudo. Estabelecida a fonte sonora, utilizamos uma fita métrica de 50 metros, milimetrada, para, a cada 50,0 cm, realizar medidas da intensidade sonora da fonte. Realizamos medidas no corredor apresentado na **Figura 1** até a distância de 15 metros totalizando 30 medidas para cada uma das frequências investigadas. Utilizamos uma decibelímetro com faixa de medição de 30 dB até 130 dB e exatidão de $\pm 1,4$ dB. Optamos pela opção de amostragem lenta que capta os ruídos do ambiente e apresenta as medidas a cada 1 s para evitar medir dados transicionais além da própria intensidade sonora emitida pela fonte. Os materiais utilizados podem ser visualizados na **Figura 2**.

Figura 2: Materiais utilizados no processo de produção e medição de intensidade sonora.



Por se tratar de medidas que são difíceis de serem realizadas, já que sofrem influência de diversos fatores do ambiente, alguns cuidados foram tomados para tentar não comprometer os resultados, e por conseguinte, as conclusões. Escolhemos o horário entre 5:00 e 6:00 da manhã pelo fato de a instituição estar vazia e o ambiente o mais silencioso possível. Essa medida tentou assegurar que os registros sonoros realizados pelo decibelímetro eram somente da fonte emissora. Também foi assegurado o alinhamento da ponta do decibelímetro com a fonte sonora em todas as medidas e respeitada a altura em que as mesmas foram realizadas. Com isso tentamos reduzir as diferenças entre os erros aleatórios de uma medida para outra. Ainda, as próprias experimentadoras tiveram que prestar atenção com o seu posicionamento para evitar barreiras acústicas entre a fonte e o receptor. A **Figura 3** mostra as integrantes do grupo realizando as medidas de intensidade sonora.

A partir dos conjuntos de medidas de intensidade sonora em função da distância da fonte para cada uma das três frequências utilizadas, realizamos regressões para ajuste de funções no Software Excel, do pacote Microsoft Office 2019. As funções ajustadas para o conjunto de dados obtidos no registro de intensidade sonora de cada frequência foram de dois tipos. Para o primeiro ajuste consideramos uma função logarítmica, visto que a escala Bel é assim construída. Entretanto por se tratarem de dados reais propensos aos erros experimentais escolhemos também um segundo ajuste como maneira de reforçar as conclusões. A segunda regressão para ajustar os dados da intensidade sonora com a distância da fonte foi realizado com funções lineares. Uma vez que não buscamos explicar uma medida em específico, mas sim, a tendência de decaimento dessas funções para compará-las, não há problemas em utilizar modelos matemáticos diferentes partindo-se do princípio que não se conhece as premissas teóricas.

Figura 3: Integrantes do grupo realizando as medidas de intensidade sonora.



Fonte: Autores.

Com as duas funções ajustadas, logarítmica e linear, para cada uma das frequências, aplicamos uma ferramenta do cálculo diferencial para determinar qual delas sofria uma taxa de variação mais intensa. Realizamos as derivadas dessas funções da intensidade sonora com a distância para determinar quem sofria um decaimento mais rápido, e por consequência, uma atenuação sonora maior.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção apresentaremos os resultados produzidos a partir do emprego da metodologia descrita e dos dados obtidos. As **Figuras 4, 5 e 6** apresentam lado a lado os ajustes logarítmicos e lineares para cada uma das três frequências utilizadas, respectivamente.

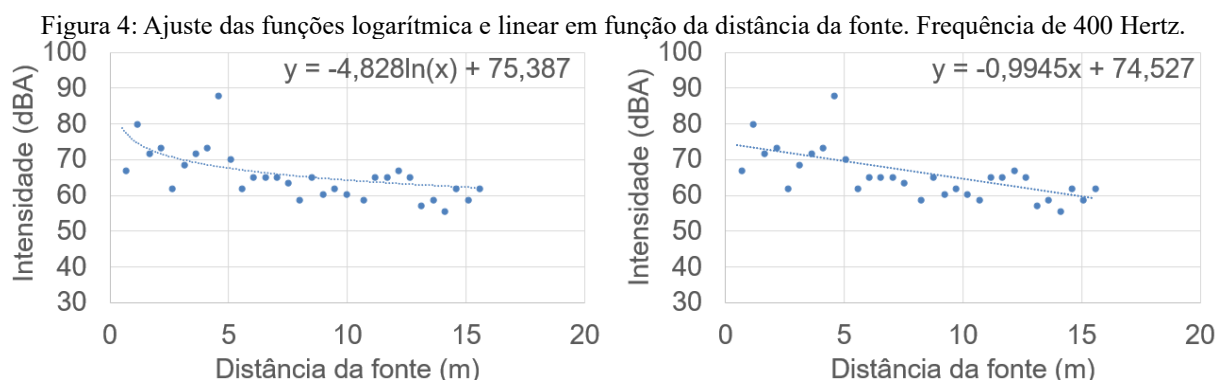
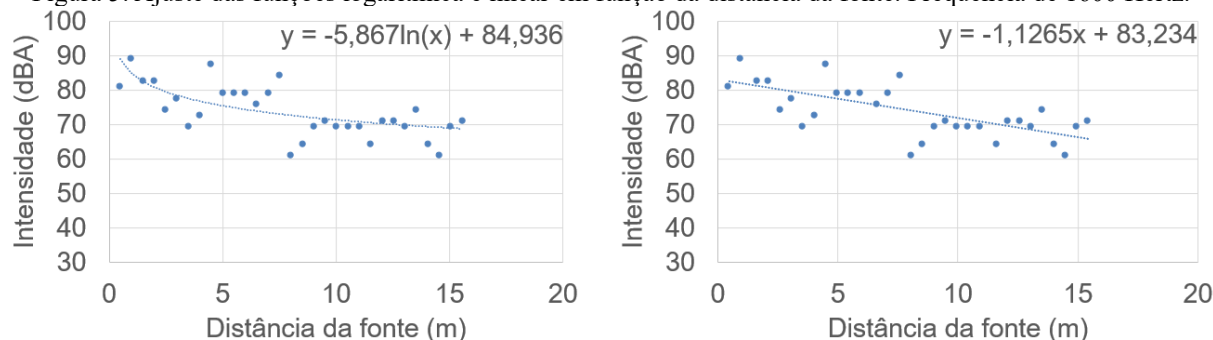
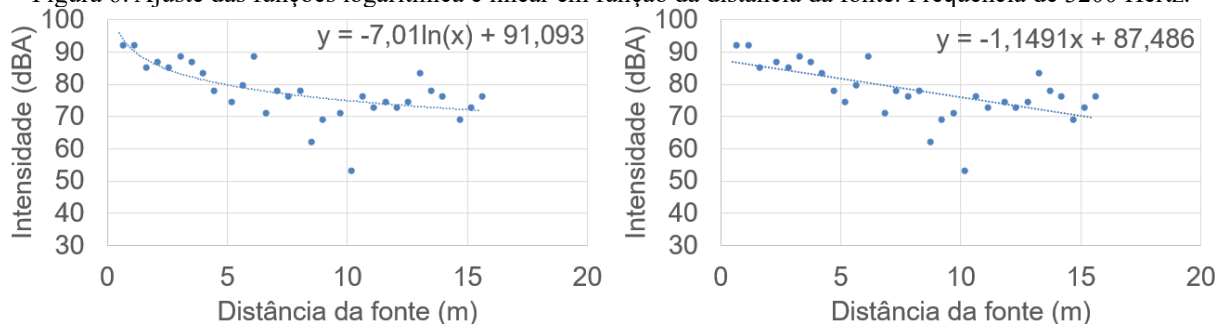


Figura 5: Ajuste das funções logarítmica e linear em função da distância da fonte. Frequência de 1600 Hertz.



Fonte: Autores.

Figura 6: Ajuste das funções logarítmica e linear em função da distância da fonte. Frequência de 3200 Hertz.



Fonte: Autores.

A tabela a seguir contém as funções logarítmicas e lineares ajustadas para cada uma das três frequências que foi ajustada. Também são apresentadas suas respectivas derivadas para mostrar o decrescimento das funções ajustadas.

Tabela 1 – Conjunto de funções ajustadas e das suas derivadas para cada uma das frequências.

Frequência (Hz)	Derivadas das funções logarítmicas	Derivadas das funções lineares
400	$-4,828/x$	$-0,9945$
1600	$-5,867/x$	$-1,1265$
3200	$-7,010/x$	$-1,1491$

Fonte: Autores.

Conforme pode-se verificar nas **Figuras 4, 5 e 6**, as medidas se afastam bastante das funções ajustadas mostrando que pontos individuais não são bem explicados pelas mesmas. Sobretudo, as funções lineares parecem ter um nível de determinação que pouco se diferencia das funções logarítmicas. Esse resultado mostra que, apesar da escala Bel utilizada pelo decibelímetro ser construída matematicamente como logarítmica, o alto erro inerente aos dados experimentais oculta sua natureza e faz com que outra função se ajuste com razoabilidade semelhante. Esse alto nível de erro obtido nos ajustes das curvas mostra que, apesar das medidas terem sido realizadas antes do amanhecer quando, teoricamente, é mais silencioso, o fato de se estar na região metropolitana afeta muito esse tipo de medida devido ao nível de poluição sonora conforme apresentado em Bressane *et al.* (2010). Sobretudo, pelo fato do IFRJ, Campus Rio de Janeiro, estar ao lado de uma via de grande movimento,

a Avenida Rei Pelé. Para além dos resultados intrínsecos a este trabalho, essa discussão mostra que o ambiente acadêmico do IFRJ, Campus Rio de Janeiro possui um alto nível de poluição sonora.

Entretanto, apesar das curvas ajustadas não apresentarem uma boa descrição dos pontos individualmente, mais importante que cada medida isolada, é a tendência do conjunto. Nesse sentido, algumas afirmações prévias podem ser feitas. Dentre elas é que existem degradação de energia sonora a depender da frequência do som. Essa verificação pode ser realizada visto que todas as medidas foram produzidas rigorosamente sob as mesmas condições, e, ainda assim, percebe-se, olhando para as derivadas das funções logarítmicas das três frequências utilizadas, que são diferentes. Esse fato é mais facilmente percebido através das derivadas dos ajustes lineares, que correspondem aos próprios coeficientes angular das retas que, nesse caso, são diferentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão mais importante deste trabalho, que se pode verificar a partir da análise dos resultados e discussões apresentados, é que, ondas sonoras de maior frequência, ou seja, os mais agudos, são mais fortemente atenuados que as sonoras de menor frequência, ou, os sons mais graves. Essa verificação pode ser feita analisando, em conjunto, as derivadas das funções logarítmicas. Percebe-se que a derivada da função ajustada para a frequência de 3200 Hz decai mais rapidamente que a derivada da função ajustada para a frequência de 1600 Hz, que, por sua vez, decai mais rapidamente que a de 400 Hz. A mesma análise é verificada para as derivadas das funções lineares. Os sons mais agudos possuem um decaimento mais rápido que os sons mais graves, claramente apresentados pelas derivadas das funções lineares que correspondem ao próprio coeficiente angular das retas. Em outras palavras, a principal conclusão que se pode ter a partir dos resultados aqui apresentados é que: considerada uma mesma fonte sonora emitindo sempre com a mesma potência, os sons graves podem ser registrados mais facilmente a distâncias maiores.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos sinceramente a todos que contribuíram para a realização deste trabalho dedicado ao estudo da atenuação de ondas sonoras em diferentes frequências. Esta experiência foi marcante em nosso percurso acadêmico, permitindo-nos investigar um tema relevante para a compreensão de bases físicas e suas aplicações no cotidiano.

Durante a pesquisa, tivemos a oportunidade de aprimorar nossas habilidades científicas aos métodos experimentais, realizar investigação e analisar resultados, sempre guiadas pelo desafio de compreender como as ondas sonoras se comportam diante de diversos obstáculos e ambientes. Cada etapa, desde



uma revisão teórica sobre a propagação sonora até a realização dos experimentos de atenuação, trouxe aprendizados essenciais sobre análise de dados, interpretação de resultados e trabalho em equipe.

Agradecemos sinceramente à instituição que nos permitiu realizar este estudo, fornecendo recursos e infraestrutura fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa. Reconhecemos ainda o apoio de colegas e colaboradores, cujas sugestões e incentivo foram indispensáveis para o sucesso do projeto.

Por fim, expressamos nossa gratidão por poder participar de uma iniciação científica que valorize o protagonismo estudantil e incentive o interesse por temas que unem conhecimento teórico e prática experimental, preparando-nos para futuros desafios acadêmicos e profissionais.

REFERÊNCIAS

- BISTFA, S. R. Acústica aplicada ao controle de ruído. Rio de Janeiro: Ed. Blucher, 2018.
- BRANDÃO, Eric. Acústica de salas: projeto e modelagem. Editora Blucher, 2018.
- BRESSANE, Adriano; SANTARINE, Gerson Antonio; MAURÍCIO, Júnior Cintra. Poluição Sonora: síntese de princípios fundamentais da teoria acústica. *Holos Environment*, v. 10, n. 2, p. 223-237, 2010.
- FERREIRA, Marcello; DA SILVA ROCHA, João Vítor; DA SILVA FILHO, Olavo Leopoldino. Sequência didática para o ensino de acústica. *Physicae Organum-Revista dos Estudantes de Física da UnB*, v. 5, n. 1, p. 27-38, 2019.
- HIRASHIMA, Simone Queiroz da Silveira; ASSIS, Eleonora Sad de. Percepção sonora e conforto acústico em espaços urbanos do município de Belo Horizonte, MG. *Ambiente Construído*, v. 17, n. 1, p. 7-22, 2017.
- KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS, A. B.; SANDERS, J. V. *Fundamentals of acoustics*. 4. ed. Wiley, 2000.
- SANTOS, Leonardo Sioufi Fagundes dos Santos. O papel da física no controle do ruído em projetos arquitetônicos. *Revista Intellectus*, v. 58, n. 1, p. 96-116, 2020.
- SOARES, Diego Novaes. O ensino de acústica através do uso de instrumentos musicais: uma proposta de ensino utilizando os 3 momentos pedagógicos. MNPEF, Cariacica, 2018.