

**Instruções Gerais**

- Esta atividade deve ser resolvida **individualmente**.
- Os itens teóricos devem resolvidos de forma organizada, clara e formal.
- Cada estudante deverá entregar um mini relatório (em PDF) contendo o nome e o RA, bem como as respostas para cada um dos itens do roteiro.
- Juntamente com o relatório, é necessário enviar os códigos utilizados para gerar os resultados. Os algoritmos desenvolvidos nos itens práticos devem ser bem organizados e comentados.
- Para facilitar a correção, envie em um arquivo .zip os arquivos referentes ao(s) programa(s) implementado(s). Portanto, **dois arquivos** devem ser carregados separadamente: um .zip contendo o(s) programa(s), e um PDF com o relatório.
- Itens de caráter mais teórico podem ser feitos à mão, digitalizados e anexados junto ao relatório. É fundamental que o raciocínio envolvido em cada item seja apresentado juntamente com o resultado (itens que apresentem apenas um resultado sem a análise pertinente terão penalizações na pontuação).
- Qualquer tentativa de fraude, se detectada, implicará na reprovação (com nota final 0.0) de todos os envolvidos.
- Ferramentas de IA generativa podem ser usadas, de forma responsável e com a devida atribuição, como auxiliares do aprendizado e como apoio na redação dos textos e na programação dos códigos dos projetos. Recomenda-se verificação e validação de toda informação gerada pela ferramenta. A responsabilidade pelo conteúdo final dos relatórios é sempre dos autores.

**Apresentação**

A resposta ao impulso de um sistema linear e invariante com o tempo (LIT) é uma das ferramentas fundamentais para a análise e compreensão do comportamento dinâmico de sistemas físicos, elétricos, mecânicos e outros. Ela consiste na resposta gerada pelo sistema quando submetido a uma entrada muito breve e intensa, chamada de impulso (matematicamente representada pela função delta de Dirac). Ao observar como o sistema reage a esse estímulo, é possível caracterizar completamente suas propriedades, como estabilidade, rapidez de resposta e capacidade de filtragem.

Além disso, a partir da resposta ao impulso é possível determinar a saída do sistema para qualquer nova entrada, utilizando, para isso, a operação de convolução. Este conceito é amplamente utilizado em engenharia, física e processamento de sinais para modelar, projetar e analisar sistemas. Neste experimento, estudaremos a resposta ao impulso acústica de um sistema que modela como percebemos o áudio. O sinal de áudio que ouvimos pode ser compreendido como um sinal produzido por um alto-falante (fonte sonora) que passa por um sistema linear representado pelo ambiente acústico e pelo sistema auditivo humano, como ilustrado na Figura 1).

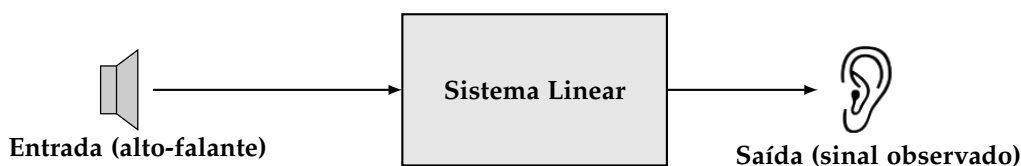


Figura 1: Representação experimental de um sistema linear: a entrada é um alto-falante (fonte de áudio), processada pelo sistema, gerando a saída  $y(t)$ , recebida por um ouvido.

Este sistema registra dois canais (um para cada ouvido), simulando a audição binaural. O modelo da cabeça está posicionado no centro de um quadrado de 3 metros de lado. Os impulsos sonoros são emitidos de quatro pontos, localizados nos vértices do quadrado ao redor da cabeça. Cada ponto representa uma posição de fonte sonora distinta, permitindo analisar como o som chega a cada ouvido a partir de diferentes direções e distâncias.

A configuração permite investigar os efeitos espaciais e temporais da propagação do som, simulando situações reais de audição binaural. A seguir, apresentamos um diagrama ilustrativo da montagem experimental (Figuras 2 e 3):

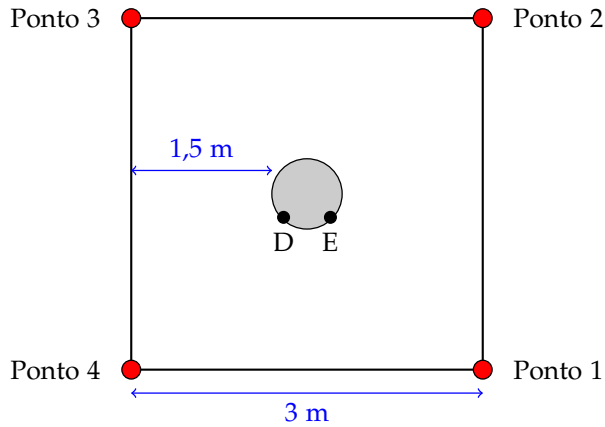


Figura 2: Esquema da montagem experimental para resposta ao impulso.



Figura 3: Fotografia da montagem para resposta ao impulso no Ponto 1.

Ao posicionar os alto-falantes em cada um dos pontos destacados na montagem experimental, foi possível obter a resposta ao impulso do sistema para diferentes configurações de fonte sonora. Cada posição representa uma situação distinta de incidência do som sobre o modelo auditivo, permitindo analisar como o ambiente e a geometria influenciam a propagação e a percepção do sinal em ambos os canais. Por exemplo, a Figura 4 ilustra é a resposta ao impulso levantada a partir do Ponto 1.

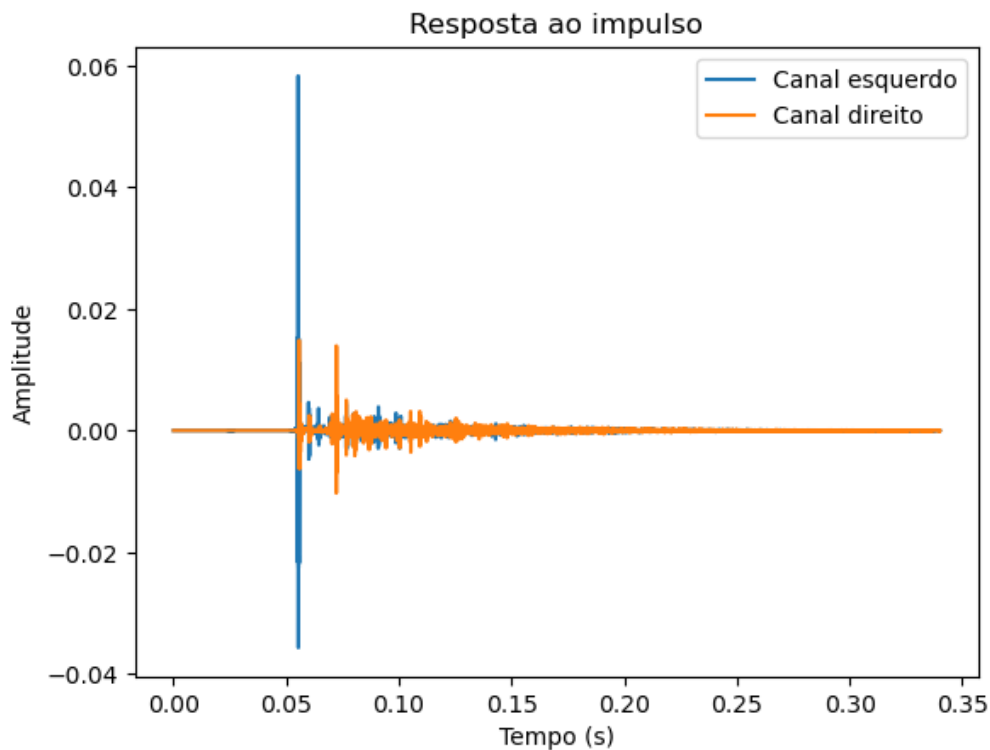


Figura 4: Resposta ao impulso medida no Ponto 1: exemplo de sinal registrado pelo sistema auditivo para uma fonte sonora posicionada no vértice correspondente.

## Parte 1: Simulação de uma fonte sonora

Junto ao roteiro no Classroom foram disponibilizadas as respostas ao impulso do sistema para cada um dos pontos do diagrama. Para facilitar o experimento, também fornecemos alguns arquivos de áudio anecóicos. Utilizando as respostas fornecidas, simule o sinal binaural captado por um observador na posição indicada pelo diagrama a partir de uma fonte sonora em qualquer um dos pontos medidos. Mostre o sinal contendo os dois canais (esquerdo e direito) e salve o resultado em um arquivo de áudio para ouvi-lo.

**Observação:** Você pode utilizar qualquer arquivo de áudio anecóico que desejar, contanto que a taxa de amostragem seja compatível com a taxa de amostragem dos dados de resposta ao impulso fornecidos. Os arquivos de áudio anecóicos que disponibilizamos já possuem a taxa de amostragem adequada.

## Parte 2: Simulação de duas fontes sonoras independentes

Utilizando o mesmo procedimento do item anterior, simule o sinal observado em cada canal auditivo quando duas fontes sonoras independentes emitem sons a partir de dois vértices diferentes do diagrama. Justifique, com base nas propriedades dos sistemas lineares, por que esse procedimento é válido. Escolha dois pontos em lados opostos do observador (Direito/Esquerdo) para facilitar a visualização do efeito. Mostre o sinal contendo os dois canais (esquerdo e direito) e salve o resultado em um arquivo de áudio para ouvi-lo.

## Parte 3: Simulação de fonte em posição não medida

Simule o sinal de áudio proveniente de uma fonte posicionada em uma localização para a qual não foi medida a resposta ao impulso: 0,8 m abaixo do observador e 0,7 m à sua esquerda. Utilize técnicas de interpolação ou aproximação para estimar a resposta ao impulso nessa posição e gere o sinal binaural correspondente. Descreva o procedimento utilizado para estimar a resposta ao impulso binaural nessa posição e exiba o seu formato no tempo. Em seguida, mostre o sinal de áudio capturado pelo observador contendo os dois canais (esquerdo e direito) e salve o resultado em um arquivo de áudio para ouvi-lo.

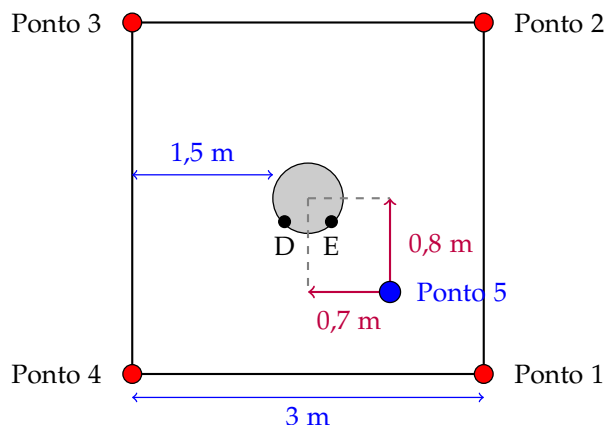


Figura 5: Diagrama indicando a posição da fonte (Ponto 5): 0,8 m abaixo e 0,7 m à esquerda do observador.



Figura 6: Fotografia da posição da fonte (Ponto 5).

## Parte 4: Discussão e comparação

Após realizar as simulações, analise os resultados obtidos. Discuta como a posição da fonte sonora afeta a percepção do som em cada ouvido e como a interpolação ou aproximação utilizada para o Ponto 5 influenciou o resultado final. Considere também as limitações do modelo utilizado e possíveis melhorias.

Considere, agora, a **resposta ao impulso real** referente ao Ponto 5 que foi disponibilizada no diretório 'Medições'. Compare o perfil da resposta ao impulso medida com a que você gerou na Parte 3 pelo procedimento de aproximação. Em seguida, repita a coleta do áudio no observador a partir de uma fonte sonora no Ponto 5, mas empregando a resposta

ao impulso real. Mostre os sinais correspondentes aos dois canais (esquerdo e direito) para este caso e compare-os com os obtidos na Parte 3. Por fim, discuta as diferenças percebidas ao ouvir os sinais da Parte 3 (resposta ao impulso aproximada) e da Parte 4 (resposta ao impulso real).