

# Medições Adstritas a Geração de Ondas Elétricas com Caracterização do Protótipo Físico do Sensor de Som

José Tiago Torres de Lima<sup>1</sup>, Mickaelly Freitas Nobre<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campus Quixadá – Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Av. José de Freitas Queiroz, 5002 – Cedro Novo – CEP: 63.902-580 – Quixadá-Ceará

{tiagotorres,mickaelly01nobre}@alu.ufc.br

**Abstract.** *This article presents a study on the generation of electrical waves in relation to the characteristics of a physical prototype of a sound sensor. The objective of the study was to represent measurements limited to the generation of electrical waves, focusing on the evaluation of the acoustic properties of the sensor. In order to achieve these goals, experimental methods and data analysis were used to assess the sensor's performance in terms of noise, sensitivity and frequency response. The results obtained demonstrate the relationship between the generated electrical waves and the acoustic response of the sensor, highlighting the importance of precision and proper calibration. Through this approach, these findings can contribute to the development of more efficient and reliable sound sensors with potential applications in areas such as environmental monitoring, noise control, and sound event detection.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta um estudo da geração de ondas elétricas em relação às características de um protótipo físico de um sensor de som. O objetivo do estudo foi representar medições limitadas à geração de ondas elétricas, com foco na avaliação das propriedades acústicas do sensor. Nesse sentido, para concretizar tais ensejos, métodos experimentais e análise de dados são utilizados para avaliar o desempenho do sensor em termos de ruído, sensibilidade e resposta em frequência. Resultados obtidos mostram a relação entre as ondas elétricas geradas e a resposta acústica do sensor, destacando a importância da precisão e calibração adequada. Por meio dessa abordagem, essas descobertas podem ajudar no desenvolvimento de sensores de som mais eficientes e confiáveis, com aplicações potenciais em áreas como monitoramento ambiental, controle de ruído e detecção de eventos sonoros.*

## 1. Introdução

Um grande número de processos de conversão de energia ocorrem na natureza. De forma análoga, o homem foi capaz de projetar alguns processos de conversão de energia adicionais por meio de diversos dispositivos inventados durante a história da humanidade. Tais dispositivos podem ser classificados de acordo com o tipo de construção usada, seus princípios físicos/químicos ou com as formas de energia que emergem anteriormente ou posteriormente à ação realizada pelo equipamento [Parchomiuk et al. 2017]. A energia elétrica é um dos recursos básicos que possibilitaram ao ser humano o avanço tecnológico e a qualidade de vida da sociedade contemporânea. Esta é utilizada para alimentar sistemas que não são conservativos, como por exemplo, os sistemas mecânicos das máquinas

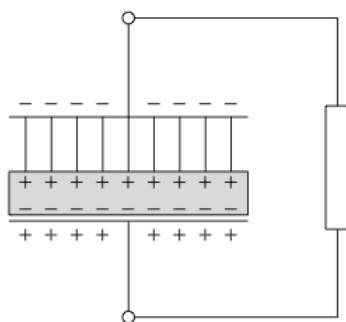
elétricas, que utilizam-se de uma porcentagem da energia fornecida pela fonte para realizar o trabalho efetivo, e dissipam uma porcentagem menor, porém não irrelevante, na forma de calor, vibrações, energia sonora etc [Biggar and Hesamzadeh 2014]. Nesse sentido, o objeto de estudo aqui presente está intrinsecamente ligado a uma análise de ondas por meio de um protótipo físico de sensor de som e um osciloscópio para avaliar a grande gama de variação de ondas elétricas em diversos aspectos, que contribuem em múltiplas áreas de pesquisas ligadas ao comportamento acústico.

## 2. Teoria

Um sensor pode ser definido como “um dispositivo que recebe e responde a um sinal ou estímulo”, o que consiste em uma definição muito ampla. [Sohraby et al. 2007]. Por isso a partir dessa definição pode-se classificar estes dispositivos como naturais, como os órgãos sensoriais humanos ou de outros seres vivos, e ainda como sensores artificiais, que são usados em sistemas artificiais para controle e supervisão de processos relacionados às atividades humanas, como por exemplo, sensores de som ou pressão em sistemas de monitoramento de vazamento de dutos de ventilação. Esses tipos de equipamentos devem ter a capacidade de enviar e receber “estímulos” de outros equipamentos, com os quais se comunicam, em uma mesma “linguagem”. E esta linguagem é a eletricidade [Dzhalilov and Pivovarov 2017]. Assim sendo, um sensor feito pelo homem deve ter a capacidade de resposta a sinais que carregam informações por deslocamento de elétrons.

### 2.1. Microfone de Eletreto

Microfones são sensores eletroacústicos com a capacidade de converter vibrações acústicas ou mecânicas em sinais elétricos. De uma forma mais prática, quando o som atinge a membrana flexível do sensor, ele produz uma força (causada pela diferença da pressão do ar que define o próprio som) que faz a membrana flexível vibrar, gerando sinais elétricos [Bakhoum and Cheng 2011]. Os microfones de eletreto por sua vez, consiste em um filme dielétrico sólido que recebe uma carga eletrostática permanente, organizados de um lado e dispostos em estreita proximidade de uma placa traseira condutora [Voorthuyzen et al. 1989].

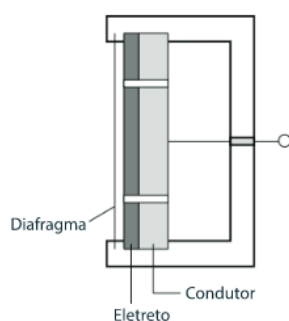


**Figure 1. Polarização do eletreto**

Dado a sensibilidade a ações externas, o eletreto é utilizado como material transdutor. Esse transdutor exibe uma sensibilidade semelhante ao de um ar polarizado externamente de um microfone condensador dielétrico, ou seja, em a faixa de mV. Assim

como o condensador, requer uma carga de alta impedância e amplificação imediata para resistir ao ruído coletado[Saarimaki et al. 2005]. Assim, é necessário que o mesmo seja alimentado juntamente a um circuito protetor, pois, a corrente induzida produzida pelo eletreto é de baixa intensidade.

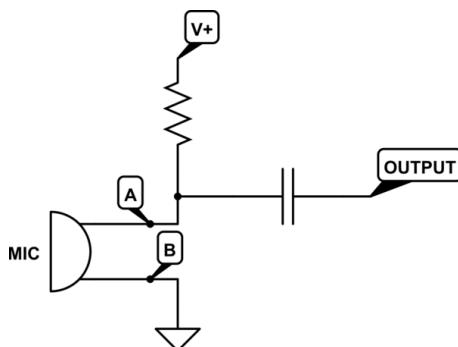
O funcionamento do sensor de eletreto se configura quando uma onda sonora atinge o sensor e, por conseguinte, a pressão sonora causa uma deformação mecânica no eletreto. Essa deformação faz com que as cargas elétricas de eletreto se movam, ocasionando uma diferença de potencial. Nesse sentido, a deformação mecânica provoca uma alteração da distância entre os eletrodos, gerando uma variação na capacitância do sensor. Portanto, a variação da capacitância do sensor é convertida em um sinal elétrico proporcional à onda sonora.



**Figure 2. Estrutura do Microfone de eletreto**

## 2.2. Filtro Passa-baixo

Filtragem, como o termo sugere, é o processo de rejeitar alguns sinais enquanto permite que outros passem através de um canal de comunicação, onde tal processo de filtragem é realizado por um dispositivo chamado filtro. Classifica-se filtros como passivo e ativo ou como analógico e digital.[Mynbaev and Scheiner 2020]. Nesse sentido, os filtros passa-baixo são tipos de processadores de sinal que permitem a passagem de frequências mais baixas e atenuam ou bloqueiam as frequências elevadas, ou seja, são usados como parte de um crossover de áudio para fornecer as baixas frequências ao tweeter e proteger a interferência de altas frequências [Choi and Liu 2016].



**Figure 3. Circuito de Alimentação**

Quando uma onda sonora atinge o sensor de eletreto, gerando assim uma tensão que é aplicada ao circuito. Dessa forma, o capacitor atua como um elemento reativo

no circuito, em outros termos, em frequências mais altas, o capacitor oferece uma baixa impedância, permitindo que o sinal passe através dele, em contraposição, em frequências mais baixas, o capacitor oferece uma alta impedância, bloqueando o sinal. Essa frequência, é denominada frequência de corte ( $f_c$ ), nesse contexto, a frequência de corte para essa aplicação é 15 KHz, logo, em termos mais práticos, a frequência abaixo desse valor serão estudadas.

A análise de resposta em frequência tem sido amplamente empregada como um método de diagnóstico comparativo [Bagheri et al. 2018]. Dessa forma, tal processo permite observar e postular cálculos para avaliação e comparativos entre diferentes sinais.

### 2.3. Coleta de Dados Amostrais do Sensor

A coleta de dados da saída do sensor, apresenta-se atrelada ao osciloscópio, onde ao aplicar três faixas de som constantes distintas, em um espaço com ruído mínimo de ambiente, obtém-se dois vetores. Nesse sentido, os pares de vetores armazenam dados de tempo e, por conseguinte, tensão, facilitando o cálculo de métricas.

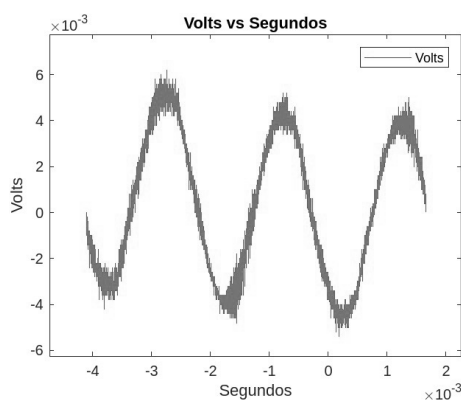
## 3. Resultados

### 3.1. Tempo de Resposta

Os critérios de análise do tempo médio de resposta estão intrinsecamente adstritos à captura amostral de três ciclos completos de bordas de descida e subida. Nesse sentido, serão apresentadas suas métricas temporais e suas variações.

#### 3.1.1. Frequência Reduzida

A amostragem inicial foi realizada mediante a aplicação de uma faixa de frequência reduzida constante entre 1 KHz a 5 KHz, com uma distância máxima de 5 centímetros do microfone de eletreto. Nesse sentido, os ruídos iniciais e finais foram desconsiderados com a obtenção do arquivo digital para a plotagem do gráfico: podendo ser observado na figura 4.



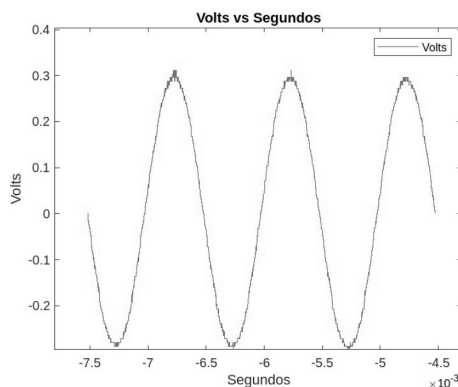
**Figure 4. Frequência Reduzida**

Com base no gráfico, é visível que a interferência do ruído-ambiente no intervalo de início e término da senoidal é presente de forma expressiva, onde se configura como um

imbróglio de grande magnitude quando se trata de processamento de áudio. No entanto, com relação às métricas de tempo, o sensor desempenha um rápido processamento de transformação analógico-digital, onde pode-se calcular tal tempo pelos dados da primeira e última posição do vetor, -0.00410560006 e 0.00165600004 respectivamente em segundos. Logo, o intervalo de tempo de resposta para concluir tal processo apresentado no gráfico da figura 4 é de 0.0057616001 segundos.

### 3.1.2. Frequência Moderada

A segunda coleta de dados foi realizada mediante a aplicação de uma faixa de frequência moderada constante entre 10 Khz a 11 Khz, com uma distância máxima de 5 centímetros do microfone de eletreto. Dessa maneira, assim como na primeira amostragem, os ruídos iniciais e finais foram desconsiderados com a obtenção do arquivo digital para a plotagem do gráfico: podendo ser observado na figura 5.

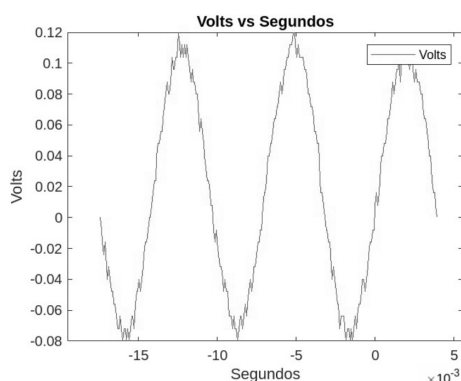


**Figure 5. Frequência Moderada**

Analisando o gráfico, é nótório que em relação à primeira amostragem, a interferência do ruído-ambiente no intervalo de início e término da senoidal diminuiu. Dessa forma, é válido postular que com o aumento da pressão do som sobre o microfone, o sinal do áudio se sobrepõe de forma significativa sobre o sinal do ruído-ambiente. Analogamente, pode-se obter o tempo de resposta entre os intervalos partindo do mesmo pressuposto da análise da primeira frequência, visto que na posição inicial do vetor tem-se -0.00075184001 segundos e na última posição -0.00045296000 segundos. Portanto, o tempo entre os intervalos é de 0.00029888 segundos.

### 3.1.3. Frequência Elevada

A última análise foi realizada mediante a aplicação de uma faixa de frequência elevada constante entre 12 Khz a 15 Khz, com uma distância máxima de 5 centímetros do microfone de eletreto. Nesse contexto, os ruídos iniciais e finais foram desconsiderados com a obtenção do arquivo digital para a plotagem do gráfico- a fim de comparativo com os dados anteriores para uma melhor distinção entre diferentes sinais: podendo ser observado com detalhes na figura 6.



**Figure 6. Frequência Elevada**

É visível no gráfico da figura 6 que o sinal do som, com o aumento da pressão sonora, sofre distorção ao decorrer do percurso amostral. Nesse sentido, é válido salientar que o processamento de áudio para frequências muito elevadas é de baixa qualidade, tendo em vista que tal distorção não garante fluidez na captura. Ademais, é notório que o sinal do som, com o aumento de sua intensidade, sofre distorção ao decorrer do percurso amostral. Nesse sentido, é válido salientar que o processamento de áudio para frequências muito elevadas é de baixa qualidade, tendo em vista que tal distorção não garante fluidez na captura acústica. Outrossim, de forma similar as amostragens anteriores, o tempo de resposta pode ser calculado seguindo os mesmos parâmetros, visto que o tempo capturado na primeira posição do vetor é de -0.00001744000 segundos e da última posição é 0.00000392000 segundos. Dessa maneira, o tempo levado para o término de três bordas de descida e três bordas de subida na amostra da figura 6 é de 0.00002136000 segundos.

## **4. Conclusão e Sugestões para Trabalhos Futuros**

### **4.1. Conclusão**

Com o estudo supracitado, é visível a empregabilidade de múltiplas facetas de aplicações adstritas ao protótipo físico do sensor de som. Nesse sentido, com a orientação de métricas presentes nas análises obtidas, pode-se observar a construção de conhecimentos entrelaçados à prática e à teoria, o que se configura como objeto de estudo para outros cálculos de métricas futuras, incrementando os dados que foram avaliados na coleta de informações apresentada. Outrossim, mesmo com o empecilho de ruídos, uma aplicação na esfera de monitoramento com a rapidez que o sensor é capaz de detectar e processar os sinais acústicos, pode fazer a diferença entre a prevenção de uma situação de perigo iminente ou a sua escalada, dado a eficácia em seu baixo tempo de resposta como mostrado anteriormente. Destarte, a abordagem de estudo é de suma vitalidade para o desenvolvimento analítico e construção de novas abordagens no meio eletrônico.

### **4.2. Sugestões para Trabalhos Futuros**

A continuidade do estudo, dado sua importância, pode ser orientada pela obtenção de outras métricas, como: análise da FFT (fast Fourier transform) e cálculo das amplitudes. Além disso, a tentativa de troca do filtro, para uma melhor calibragem do sensor, pode ser viável, visto que a desenvoltura de transmutação do circuito é aplicável. Logo, por meio dessas modificações, é possível realizar novas coletas amostrais, com a expectativa

de obter resultados mais refinados para a redução da incerteza e validação do sistema de avaliação por meio da análise sonora.

## 5. QR Code de Acesso ao Repositório de Dados



## References

- Bagheri, M., Lu, M., Naderi, M. S., and Phung, B. T. (2018). Transformer frequency response: a new technique to analyze and distinguish the low-frequency band in the frequency response analysis spectrum. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 34(5):39–49.
- Bakhoun, E. G. and Cheng, M. H. M. (2011). Novel electret microphone. *IEEE Sensors Journal*, 11(4):988–994.
- Biggar, D. R. and Hesamzadeh, M. R. (2014). *Introduction to Electricity Networks and Electricity Markets*, pages 31–32. IEEE.
- Choi, K. and Liu, H. (2016). *Low Pass Filter and Band Pass Filter Design*, pages 55–65. IEEE.
- Dzhalilov, T. and Pivovarov, N. (2017). From the history of the soviet electronics industry (the late 1950s–1960s). In *2017 Fourth International Conference on Computer Technology in Russia and in the Former Soviet Union (SORUCOM)*, pages 213–217. IEEE.
- Mynbaev, D. K. and Scheiner, L. L. (2020). *Filters*, pages 325–496. IEEE.
- Parchomiuk, M., Strzelecki, R., Zymmer, K., and Domino, A. (2017). Modular power converter with superconducting magnetic energy storage for electric power distribution system — analysis and simulation. In *2017 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe)*, pages P.1–P.6. IEEE.
- Saarimaki, E., Paajanen, M., Savijarvi, A., and Minkkinen, H. (2005). Novel heat durable electromechanical film processing: preparations for electromechanical and electret applications. In *2005 12th International Symposium on Electrets*, pages 220–223.
- Sohraby, K., Minoli, D., and Znati, T. (2007). *Operating Systems for Wireless Sensor Networks*, pages 273–282. IEEE.
- Voorthuyzen, J., Bergveld, P., and Sprenkels, A. (1989). Semiconductor-based electret sensors for sound and pressure. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 24(2):267–276.