

PROTÓTIPO CONCEITUAL DE UM DISPOSITIVO DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS VIA MEDIÇÃO DE SUPERFÍCIE: PROVA DE CONCEITO

João Victor Bassoli Sedano, joao-victor.sedano@unesp.br¹
Fabrício Cesar Lobato de Almeida, fabricio.lobato@unesp.br¹
Bruno Cavenaghi Campos, bruno.cavenaghi@unesp.br¹

¹Universidade Estadual Paulista – Unesp, Faculdade de Engenharia de Bauru - FEB, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube 14-01-Bauru/SP

Resumo. Este estudo propôs a investigação e desenvolvimento inicial de um protótipo conceitual de baixo custo para detecção de vazamentos em tubulações via medições de superfície. O protótipo utiliza pastilhas piezoelétricas como sensores alternativos a acelerômetros industriais de alta sensibilidade e um computador comercial como sistema de aquisição (placa de áudio) e processamento (software). Um script em MATLAB com interface gráfica foi criado para permitir medições práticas e personalizáveis. Os testes foram realizados em uma bancada simuladora de vazamentos, comparando a gravação dos sinais com a placa de áudio de um laptop e com uma interface de áudio externa. Os resultados foram analisados em termos de PSD (Power Spectral Density), CPSD (Cross Power Spectral Density), coerência e fase e mostraram que, apesar da menor sensibilidade dos piezos, seus sinais apresentaram coerência e fase compatíveis com a utilização para detecção de vazamentos, especialmente em baixas frequências. A interface de áudio externa proporcionou melhor desempenho, com menor ruído de fundo. Conclui-se que os piezos, aliados ao sistema proposto, são uma alternativa viável e acessível para aplicações experimentais na detecção de vazamentos.

Palavras-chave: Aquisição baixo-custo. Detecção de vazamentos. Sensores Piezoelétricos.

Abstract. This study presents the development of a low-cost data acquisition system for leak detection in pipelines using piezoelectric sensors as an alternative to high-sensitivity industrial accelerometers. A MATLAB-based interface was created to allow customizable and user-friendly signal acquisition and processing. Experiments were conducted using a leak simulator, comparing measurements obtained with the laptop's internal sound card and an external audio interface. The signals from piezoelectric sensors were analyzed in terms of PSD (Power Spectral Density), CPSD (Cross Power Spectral Density), coherence, and phase, and compared between each other. Results showed that, despite lower sensitivity, piezoelectric sensors provided consistent data, particularly in low-frequency ranges. The external audio interface significantly reduced background noise, enhancing signal quality. The system proved to be a viable and affordable solution for applications in leak detection.

Keywords: Low-cost acquisition, Leak detection, Piezoelectric sensors.

1. INTRODUÇÃO

Vazamentos em tubulações são problemas que se não sanados rapidamente acarretam grande desperdício de água (Eliasson, 2014; Liemberger e Wyatt, 2018). Isso é ainda mais agravante para tubulações enterradas, uma vez que a detecção desses vazamentos e a manutenção deles se torna mais complexa. Por conta disso, técnicas vibro-acústicas foram desenvolvidas e continuam sendo aprimoradas ao longo do tempo. Essas técnicas podem ser mais precisas e não intrusivas com o uso de sensores de contato como, por exemplo, geofones e acelerômetros e intrusivos como hidrofones (Almeida, et al, 2014; Gao, et al, 2005). Estes sensores apresentam um grande custo agregado considerando tanto o preço do equipamento quanto a mão-de-obra necessária para operá-lo. Uma alternativa a estes sensores são as pastilhas do tipo piezoelétricas, que são utilizadas em diferentes aplicações em engenharia, inclusive em componentes de detecção de vazamentos (Gao, et al, 2005), apresentando um custo bem reduzido em comparação aos outros tipos de sensores como acelerômetros de alta sensibilidade.

Os custos para a detecção de vazamentos não são limitados somente aos sensores empregados. Conjuntamente com eles é necessário um sistema de aquisição de dados, o qual tem como função condicionar e digitalizar o sinal recebido, ou até mesmo, garantir a sincronização de sinais adquiridos por mais de um sensor quando técnicas de correlação cruzada são requeridas. Estes sistemas de aquisição geralmente possuem um alto valor agregado, o que acaba por tornar a utilização desses equipamentos bem restrita. Além do mais, quando um software de análise é empregado, este geralmente não possui uma interface intuitiva. Ressalta-se que um dos motivos do alto valor requerido por estes equipamentos se dá

em função dos sensores de alta sensibilidade usados, como por exemplo, acelerômetros de precisão, já que estes apresentam ruído de instrumentação baixo garantindo a detecção de pequenos vazamentos, quando o ruído de fundo for controlado.

Portanto, esse estudo tem como principal objetivo elaborar um sistema de aquisição de dados baixo custo utilizando um computador comercial e um software (script) em MATLAB além de criar também uma interface para que o usuário consiga realizar quantas medições de sinais quiser e da forma que quiser de maneira um pouco mais intuitiva. Serão realizadas medições com as pastilhas piezo em uma bancada simuladora de vazamentos utilizando a placa de áudio integrada a um laptop e utilizando uma interface de áudio externa. Os resultados obtidos serão comparados quanto a PSD (*Power Spectral Density*), CPSD (*Cross Power Spectral Density*), Coerência, Fase e ruído de fundo a fim de melhor entender as diferenças entre os sistemas de gravação.

2. METODOLOGIA

Nesta seção será explicado como as medições com as pastilhas piezo foram realizadas e como é composta a interface do sistema de aquisição via MATLAB em detalhes.

2.1 INTERFACE DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO CRIADA NO MATLAB: SOFTWARE

Com o objetivo de criar um sistema de aquisição barato que seja capaz de executar uma série de medições e de forma prática, um script em MATLAB foi desenvolvido. Esse script contém uma interface com o usuário a qual dá liberdade para que sejam escolhidos quaisquer valores dos parâmetros de entrada necessários, bem como, qual pós-processamento de dados deseja no final. Um fluxograma que mostra a sequência lógica da interface é mostrado na Fig. 1.

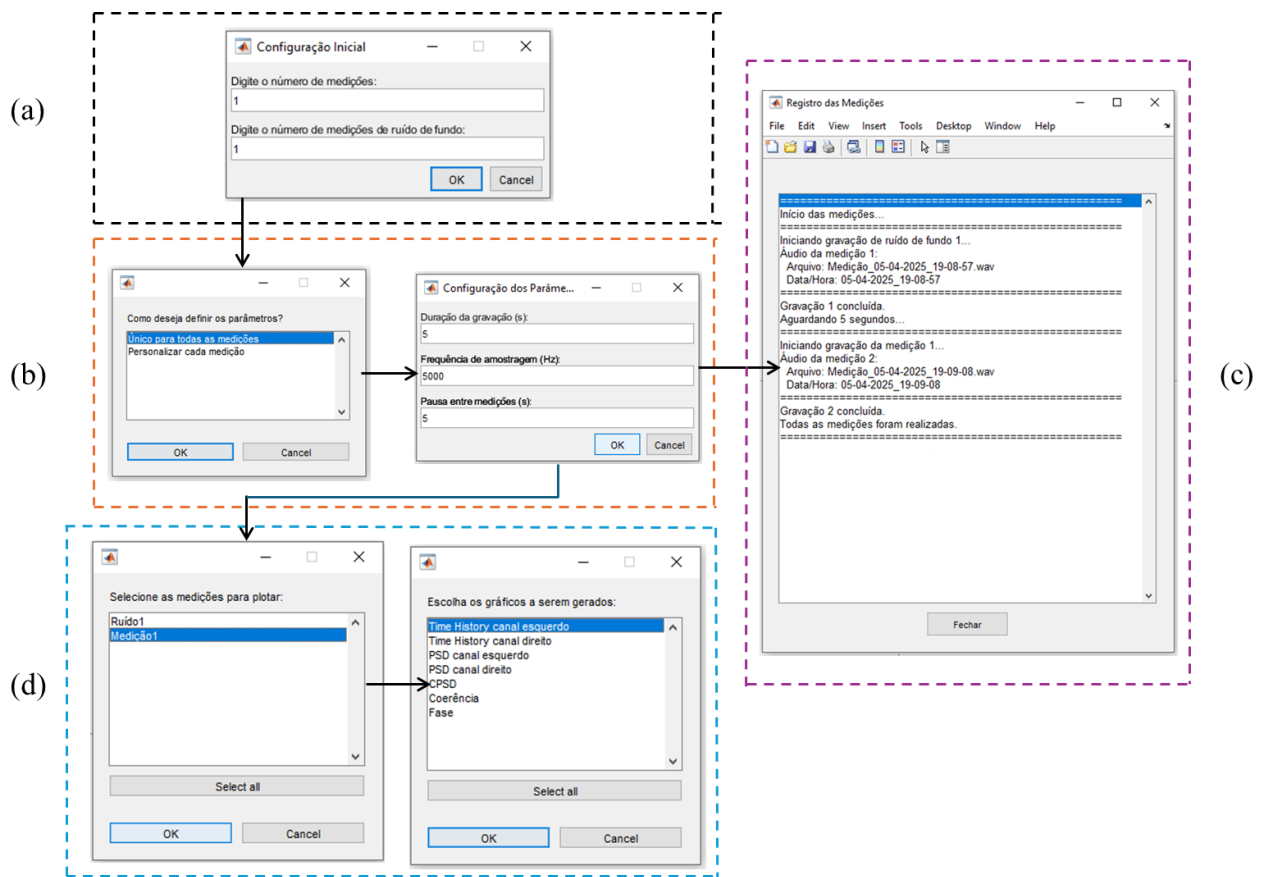


Figura 1. Fluxograma que mostra como são inseridos as (a) quantidades de medidas desejadas, (b) como os parâmetros são escolhidos, (c) o console que mostra as informações durante a gravação e (d) como são escolhidos os dados a serem visualizados. As setas indicam a ordem em que as janelas aparecem

Na Figura 1 (a) é perguntado se o usuário deseja realizar todas as medidas com os mesmos parâmetros ou se deseja parâmetros diferentes para cada medida. Após isso, o usuário escolhe quais valores quer para os parâmetros de medição, conforme visto na Fig. 1 (b). Durante o processo de gravação, todas as ações realizadas são mostradas em uma janela de

registros em tempo real com o objetivo de deixar o usuário a par de como está ocorrendo, e em qual parte o processo de gravação está em determinado, mostrando também qual medição está sendo gravada, o tempo de pausa determinado pelo usuário e as informações de salvamento das gravações em arquivos com a data e hora de cada gravação, como pode ser visto na Fig. 1 (c). Após a gravação das medidas é realizado o pós-processamento dos sinais gravados, visto na Fig 1. (d). Nessa etapa o usuário tem a possibilidade de escolher quais informações deseja ver. São dadas as opções de visualização do sinal no tempo (*Time History*), as PSD's, a CPSD, a coerência e a fase entre cada canal gravado. Os ruídos de fundo de cada canal também são exibidos a fim de comparação.

2.2 MEDIÇÕES REALIZADAS NA BANCADA SIMULADORA: HARDWARE

A fim de validar a utilização desse sistema, composto por um laptop do tipo Dell latitude 3450, as medidas foram realizadas por meio da montagem vista na Fig. 2.

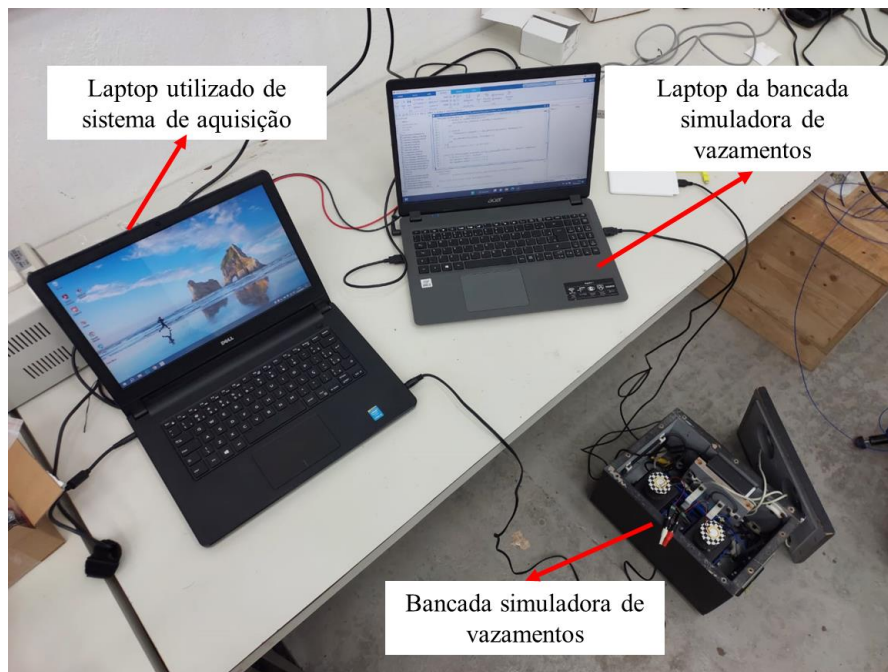


Figura 2. Esquema da montagem experimental para obtenção das medidas.

Foram realizados dois tipos de medição: com a placa de áudio embutida do laptop e com a interface de áudio dedicada. A interface de áudio utilizada é do tipo Behringer UCA222 com dois canais de medição. A bancada simuladora de vazamentos, desenvolvida em conjunto com a SABESP, é utilizada com seu software próprio por meio de outro laptop. A bancada simuladora de vazamento pode ser vista em detalhes em (Sedano, J.V.B, et al, 2024). O software da bancada simuladora permite que o vazamento possa ser posicionado a qualquer distância de cada um dos sensores, e com isso foram realizadas três medições de sinal. Uma com o vazamento próximo de um dos sensores (sensor da esquerda), uma com o vazamento no meio entre os sensores e uma com o vazamento próximo do outro sensor (sensor da direita). Para isso, foi adotada uma distância de 4 m entre os sensores e o vazamento foi posicionado a 1 m de cada um dos sensores e a 2 m entre eles. Foram gravados 30 s de sinal para cada medida com taxa de aquisição de 5000 Hz. Esse procedimento foi realizado para a placa de áudio do laptop e para a interface de áudio dedicada.

3. RESULTADOS

Nessa seção serão apresentados os resultados obtidos com a utilização da placa de áudio e interface de áudio. Os resultados serão comparados com os obtidos por meio dos acelerômetros calibrados presentes na bancada simuladora.

3.1 RESULTADOS OBTIDOS COM A PLACA DE ÁUDIO

As respostas de PSD, Coerência, Fase e CPSD para cada posição do vazamento estão presentes na Fig. 3 Os índices (a), (b) e (c) se referem às posições do vazamento próximo do sensor esquerdo, no meio entre os sensores e próximo ao sensor direito respectivamente. Os subíndices (i), (ii), (iii) e (iv) se referem às respostas PSD, Coerência, Fase e CPSD dos sinais respectivamente.

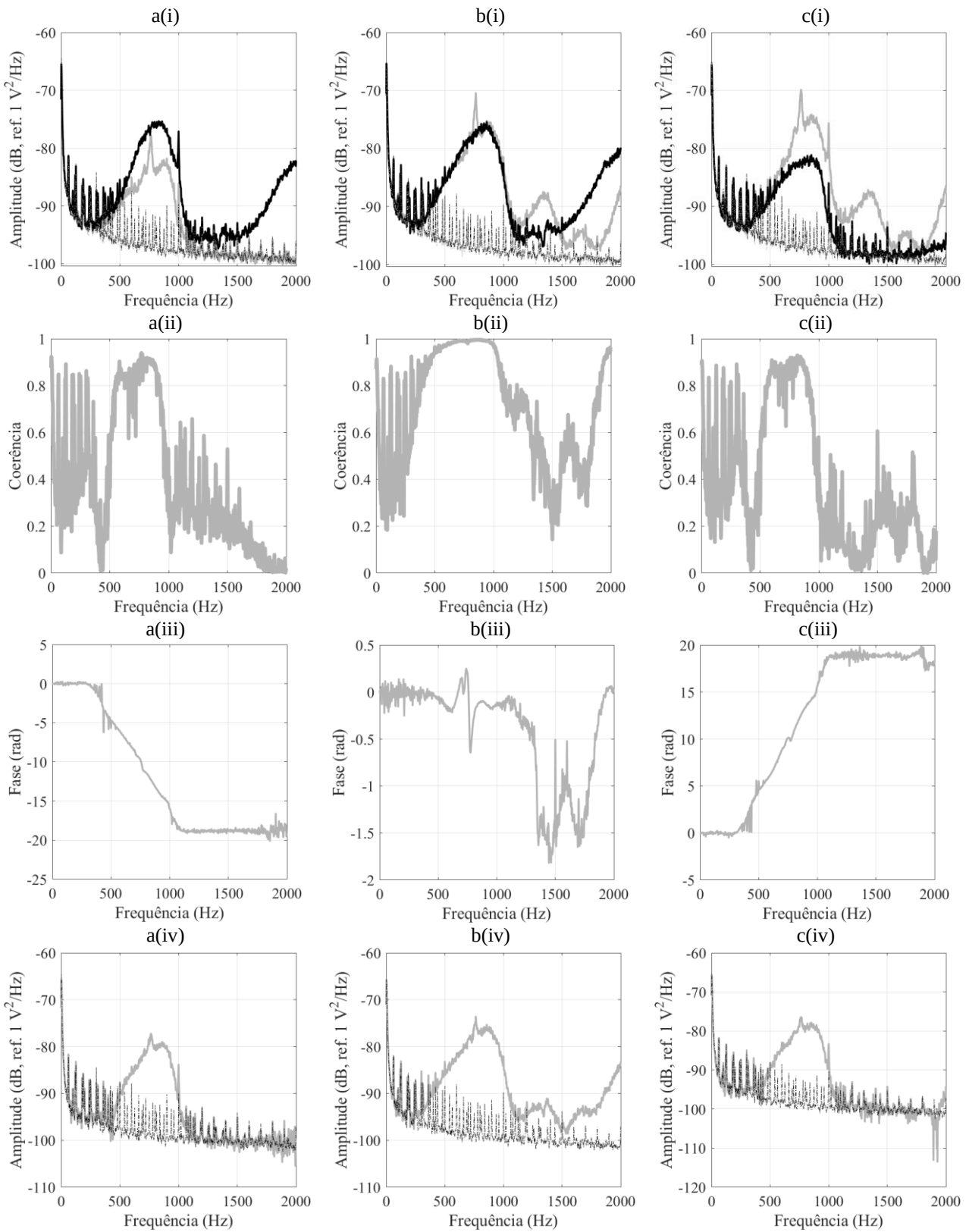


Figura 3. Respostas da utilização da placa de áudio com o vazamento (a) próximo do sensor esquerdo, (b) no meio entre os sensores e (c) próximo do sensor direito. Índices (i), (ii), (iii) e (iv) se referem a PSD, Coerência, Fase e CPSD respectivamente. Em preto o sensor esquerdo e em cinza o direito, linha fina tracejada o ruído de fundo.

Sobre as PSD's, na Fig 3. a(i) é visto que a amplitude do sensor é maior na posição esquerda, como de esperado pois se encontra mais próxima do vazamento. Já na Figura 3 b(i) é vista que a amplitude dos sensores é similar em ambas as

posições. Na Figura 3 c(i) constata-se que a amplitude do sensor é maior na posição direita, como esperado, pois, também é mais próxima do vazamento. Nota-se também que o ruído de fundo obtido é relativamente alto, sendo praticamente da mesma amplitude do sinal medido, indicando uma limitação por parte da placa de áudio do laptop.

Nota-se que na Fig. 3 a(ii) a coerência é razoavelmente boa para as pastilhas piezo em baixa frequência e ruim a altas frequências. Na Figura 3 b(ii) é vista uma coerência relativamente boa ao longo do intervalo de frequência analisado, provavelmente devido ao fato dos sensores estarem posicionados a uma mesma distância do vazamento e com isso possuírem sinais semelhantes. A Figura 3 c(ii) mostra uma coerência muito semelhante a Fig. 3 a(ii) devido ao fato de ser uma situação análoga.

É possível notar na Fig. 3 a(iii) que as pastilhas piezo apresentam sessões lineares na fase parecidas com a dos acelerômetros como visto no estudo de (Sedano, J.V.B, et al, 2024) indicando um funcionamento parecido. Já na Figura 3 b(iii), nota-se que a fase dos sensores é um tanto quanto conturbada devido ao posicionamento do vazamento entre eles. Já a Figura 3 c(iii) mostra um comportamento análogo ao da Fig. 3 a(iii). A Figura 3 a(iv), b(iv) e c(iv) mostra as CPSD's obtidas para cada posicionamento do vazamento em relação aos sensores. Pode-se observar que todas as respostas tiveram praticamente o mesmo comportamento, apresentando um pico à baixa frequência e ruído de fundo alto como apontado anteriormente.

3.2 RESULTADOS OBTIDOS COM A INTERFACE DE ÁUDIO

De forma similar à Fig. 3, a Fig. 4 contém as respostas PSD, Coerência, Fase e CPSD entre os sinais, porém agora com a utilização da interface de áudio. O esquema de índices e subíndices permanece o mesmo. É visto na Figura 4 um comportamento similar aos da Fig. 3 para as três situações de posicionamento do vazamento. Porém pode-se destacar que nas Fig. 4 a(ii), b(ii) e c(ii), a Coerência apresentou melhores resultados que na Fig. 3, especialmente na Fig. 4 b(ii). Outra grande diferença se dá na diminuição significativa do ruído de fundo, causada pela melhor qualidade construtiva da interface de áudio em relação à placa de áudio do laptop. Já na Figura 4 a(iv), b(iv) e c(iv) é possível observar uma diminuição na amplitude das CPSD's em comparação com os resultados obtidos na Fig. 3. A diminuição no ruído também pode ser vista nesse caso.

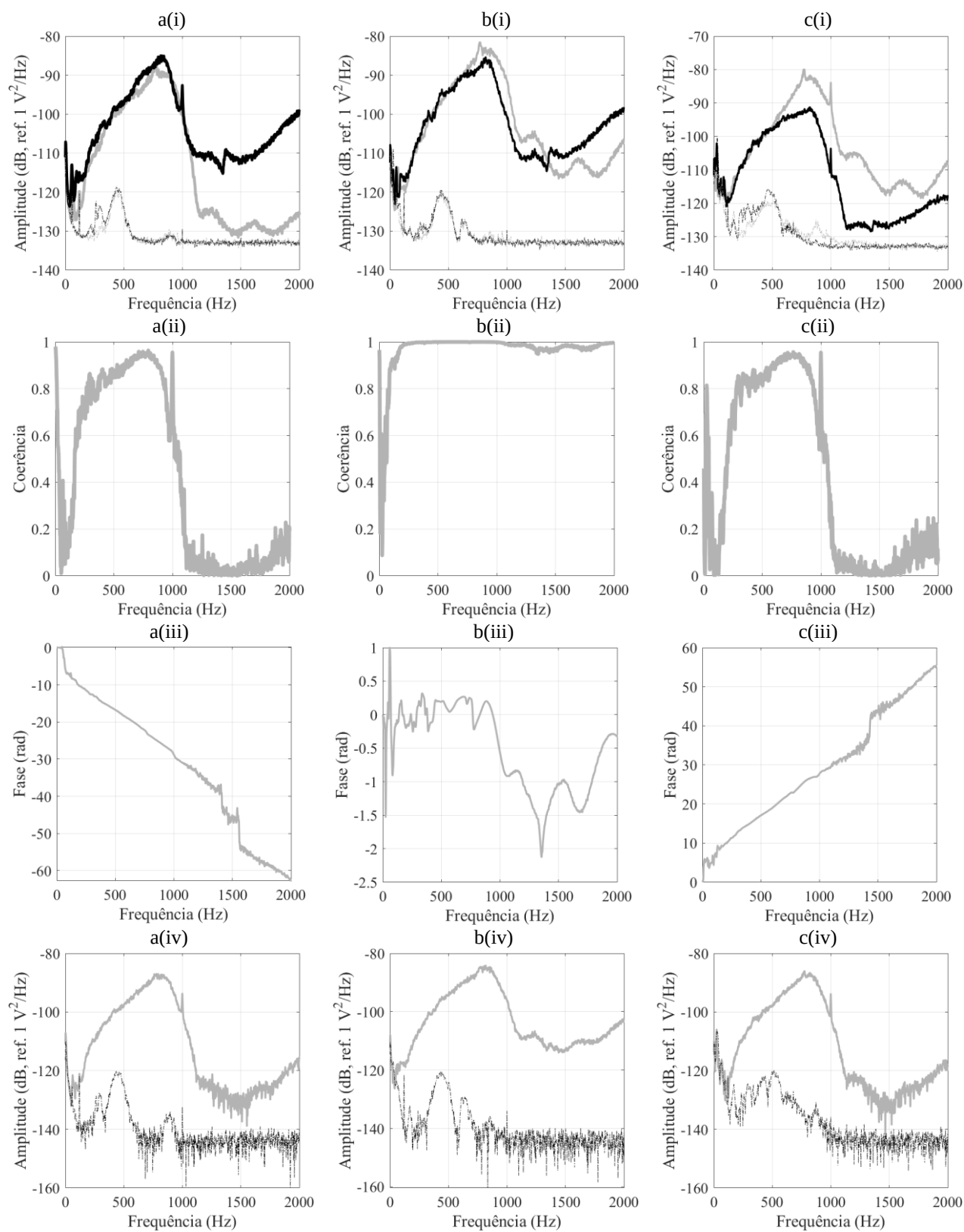


Figura 4. Respostas da utilização da placa de áudio com o vazamento (a) próximo do sensor esquerdo, (b) no meio entre os sensores e (c) próximo do sensor direito. Índices (i), (ii), (iii) e (iv) se referem a PSD, Coerência, Fase e CPSD respectivamente. Em preto o sensor esquerdo e em cinza o direito, linha fina tracejada o ruído de fundo.

4. CONCLUSÕES

Portanto, esse estudo demonstrou a viabilidade da utilização de pastilhas piezoelétricas como sensores de baixo custo para a detecção de vazamentos em tubulações, aliado a um sistema de aquisição de dados desenvolvido em MATLAB. A interface criada se mostrou funcional, prática e versátil, permitindo a realização de medidas customizadas de acordo com as características específicas requeridas pelo experimento.

As medições realizadas com a placa de áudio do laptop e com a interface de áudio externa mostraram que, apesar das limitações da placa de áudio, especialmente em relação ao ruído de fundo, ainda é possível observar tendências coerentes entre as respostas dos sensores piezoelétricos. Contudo, a utilização da interface de áudio dedicada se destacou por proporcionar melhor qualidade nos sinais adquiridos, com significativa redução do ruído de fundo, o que resultou em maior clareza nas análises feitas.

Os resultados obtidos validam o uso de piezoelétricos como uma alternativa econômica para aplicações de detecção de vazamentos, sobretudo quando se emprega uma interface de áudio externa. Os piezos foram capazes de captar variações nos sinais com coerência e fases compatíveis, especialmente nas faixas de frequência mais baixas. Com isso, é possível afirmar que o sistema de aquisição baixo custo desenvolvido é de certa forma promissor em ser utilizado em aplicações de detecção de vazamentos conjuntamente com as pastilhas piezo elétricas.

5. AGRADECIMENTOS

O autor agradece à PROPe/UNESP projeto 16610 pelo auxílio financeiro e à SABESP pelo fornecimento do simulador de vazamentos.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.C.L. et al. On the Acoustic Filtering of the Pipe and Sensor in a Buried Plastic Water Pipe and its Effect on Leak Detection: An Experimental Investigation. *Sensors*, v. 14, n. 3, p. 5595–5610, 20 mar. 2014
- ELIASSON, J. The rising pressure of global water shortages. *Nature*, v. 517, n. 7532, p. 6–6, 29 dez. 2014.
- GAO, Y. et al. On the selection of acoustic/vibration sensors for leak detection in plastic water pipes. *Journal of Sound and Vibration*, v. 283, n. 3-5, p. 927–941, maio 2005
- LIEMBERGER, R.; WYATT, A. Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Supply*, v. 19, n. 3, p. 831–837, 6 jul. 2018.
- SEDANO, J.V.B. et al.. Caracterização de transdutores piezoelétricos tipo pastilha utilizados em equipamentos vibro-acústicos empregados em detecção de vazamentos. In: *Anais do XXXVI Congresso de Iniciação Científica da Unesp: "Ciência em tempos de crise climática e social"*. Águas de Lindóia (SP), 2024.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.