

INVESTIGAÇÃO SOBRE CAPTURA DE SONS DO JOELHO POR MEIO DE MICROFONE PARA DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS NA ARTICULAÇÃO

Carlos Eduardo Oliveira da Silva^{1e2}, Fernanda Pupio Silva Lima¹, Mário Oliveira Lima¹.

¹Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, fpupio@univap.br, mol@univap.br.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Rod. Pres. Dutra, km 145 - s/n - Jardim Diamante - 12223-201 - São José dos Campos-SP, Brasil, carlossilva@ifsp.edu.br.

Resumo

As articulações do corpo humano são responsáveis pelos movimentos e estabilidade do esqueleto, conectando os ossos a outros ossos ou a cartilagens. O joelho é uma articulação complexa, formada pelos ossos fêmur, tíbia e patela. Há muito tempo são realizadas pesquisas que tentam utilizar os sons articulares para diagnóstico patológico, passando pela utilização de estetoscópios, microfones e sistemas eletrônicos. Muitos métodos das pesquisas atuais utilizam acelerômetros e transdutores piezoelétricos para medir as vibrações e sons nas articulações dos joelhos, sendo os microfones menos utilizados, talvez por limitações antigas que hoje possam ser facilmente contornadas. Com objetivo de investigar o uso de microfone para desenvolvimento de sistema de diagnóstico de patologias em articulações do joelho, o trabalho desenvolve um sistema de aquisição e gravação de dados baseado em plataforma Arduino e processamento utilizando GNU Octave por meio de Transformada Rápida de Fourier. Os resultados permitem concluir que os microfones são capazes de distinguir sons proveniente do joelho dos sons do ambiente da gravação.

Palavras-chave: Aquisição de Dados; Microfone; Arduino; Joelho; Diagnóstico Médico.

Área do Conhecimento: Engenharias – Engenharia Biomédica.

Introdução

As articulações do corpo humano são responsáveis pelos movimentos e estabilidade do esqueleto, conectando os ossos a outros ossos ou a cartilagens, podendo assim realizar movimentos relativos entre essas partes. As articulações do corpo são divididas em 3 grupos, de acordo com a natureza do elemento que se interpõe entre as partes, sendo elas juntas ou articulações fibrosas, juntas ou articulações cartilaginosas e juntas ou articulações sinoviais (DANGELO E FATTINI, 2000).

O joelho é uma articulação complexa, formada pelos ossos fêmur, tíbia e patela, e consiste em três articulações sinoviais, sendo articulação patelofemoral, articulação femorotibial lateral e articulação femorotibial medial. As superfícies dos ossos dessa articulação são cobertas por cartilagem articular, que serve para absorver forças de compressão e evitar o contato direto osso com osso. Essas articulações são cercadas por uma única cápsula contendo o líquido sinovial e possuem ainda os ligamentos, que fornecem força e estabilidade à articulação. Meniscos fibrocartilaginosos também estão presentes entre as superfícies dessa articulação entre a tíbia e o fêmur, desempenhando um papel fundamental no movimento e absorção de impacto. O joelho é muito suscetível a lesões devido à sua complexidade e numerosos componentes. (ABULHASAN E GREY, 2017).

Segundo Inoue, Kagata e Suzuki (1986), desde 1885 há registros de pesquisas que tentam utilizar os sons articulares para diagnóstico patológico, passando pela utilização de estetoscópios, microfones e sistemas eletrônicos rudimentares. As dificuldades encontradas na época foram a supressão do ruído do ambiente e o ruído gerado pela fricção entre o sensor e a área de contato. Um ponto importante desse período era a limitação tecnológica disponível, onde os sons das articulações eram captados por meio de microfones simples, utilizando pré-amplificadores eletrônicos analógicos simples, gravadores com fitas magnéticas e sistemas computacionais com baixa capacidade de memória e processamento. Ao final da utilização desses sistemas, as informações processadas apresentavam ruídos e distorções inerentes do processo utilizado.

Com o crescente número de trabalhos na área de Engenharia Biomédica que desenvolvem pesquisas para diagnóstico de patologias no joelho utilizando acelerômetros e transdutores piezoelétricos, o objetivo deste trabalho é realizar uma investigação e retomar o uso de microfones para desenvolvimento de métodos de diagnóstico de patologias na articulação do joelho.

Metodologia

Conforme demonstrado por FRANK, RANGAYAN e BELL (1990), no início da década de 90 foi possível realizar pesquisas mais avançadas sobre o reconhecimento e análise de sinais sonoros e das articulações do joelho usando um sistema de microcomputador. Apesar de análises apenas qualitativas, os estudos sugerem que podem ser quantificadas se utilizadas técnicas mais modernas de processamento e modelagem de sinais, como a previsão linear e análise de Fourier de curto prazo para estudar tendências no conteúdo de frequência dos sinais. Por fim, essas pesquisas sugerem que mais trabalhos precisam ser realizados para tornar a análise sonora uma ferramenta mais sensível, reprodutível e útil, principalmente para uso em clínicas médicas e de diagnósticos de patologias.

A partir dos anos 2000, com o avanço da eletrônica, informática e métodos matemáticos, várias outras pesquisas foram desenvolvidas, obtendo resultados bem significativos, surgindo assim alguns grupos especializados de pesquisa na área de joelho. Segundo KIM, LEE, SEO e SONG (2006), KIM, SONG e SEO (2008), KIM, SEO, KANG e SONG (2009), SONG, KIM e SEO (2009) e KIM, SEO e SONG (2012), os sinais acústicos obtidos por meio de microfones e sinais vibroartrográficos (VAG) obtidos por meio de eletro-estetoscópio aliados ao processamento a partir da Distribuição Tempo-Frequência (Wavelet) podem desenvolver ferramentas capazes de avaliar e classificar patologias da articulação do joelho.

Existem três técnicas utilizadas para aquisição do som da articulação do joelho durante o seu movimento, sendo que para cada tipo, o sensor utilizado opera em determinada faixa de frequência, conforme segue:

- Fonoartrografia - Utiliza microfones para capturar frequências audíveis na faixa sônica (BASSIOUNI, 2012);
- Vibroartrografia (VAG) - Utiliza acelerômetros para capturar frequências de vibração (ANDERSEN, ARENDT-NIELSEN, MADELEINE, 2016);
- Emissão Acústica (EA) - Utiliza transdutores piezoelétricos para capturar frequências audíveis e inaudíveis na faixa ultrassônica (OLORUNLAMBE, SHEPHERD, DEARN, 2019).

Com base na aquisição, no processamento e na análise do sinal de vários movimentos do joelho, todas as três técnicas demonstraram o potencial diagnóstico para avaliação da articulação do joelho em termos de diferenciação de articulações saudáveis e patológicas (KHOKHLOVA L., ET. AL, 2019).

Arduino é uma plataforma aberta que permite o desenvolvimento de projetos eletrônicos. A plataforma é composta de uma família de vários modelos de microcontroladores, que se integra facilmente com placas de diferentes tipos de sensores e atuadores. A plataforma é controlada por meio de um software que é desenvolvido em linguagem baseada em C/C++, num ambiente gratuito que possui uma ampla comunidade de usuários ao redor do mundo (ARDUINO, 2022).

Vários trabalhos na área da saúde vêm sendo desenvolvidos utilizando a plataforma Arduino. Os autores Ahmed e Zhu (2020), utilizaram a plataforma Arduino e seu ambiente de programação para desenvolver um detector precoce de fibrilação atrial do coração baseado em sinais de batimentos por minuto e cálculo de RR do eletrocardiograma. Já os autores Wu, Dyson e Nazarpour (2021), utilizaram a plataforma Arduino para desenvolver um controlador mioelétrico de baixo custo para controlar uma prótese de mão, que faz a leitura dos sinais de sensores de eletromiografia acoplados ao membro da pessoa.

O som é composto por vibrações que se propagam no ar, as quais são ouvidas e sentidas quando se escuta uma música, por exemplo. Os microfones são elementos sensores que captam essas vibrações do som e convertem a energia acústica em energia elétrica (YAMAHA, 2024). Os tipos mais comuns de microfone são: Microfone dinâmico e Microfone condensador. Os microfones possuem direcionalidade, que indica em qual direção melhor captam o som propagado pelo ambiente. Os tipos de direcionalidade de microfones podem ser descritos como: Unidirecional, Bidirecional e Omnidirecional.

Eletreto é um material dielétrico e microfones condensadores de eletreto têm sido amplamente utilizados desde sua introdução em 1962. Esses microfones oferecem um bom desempenho por um

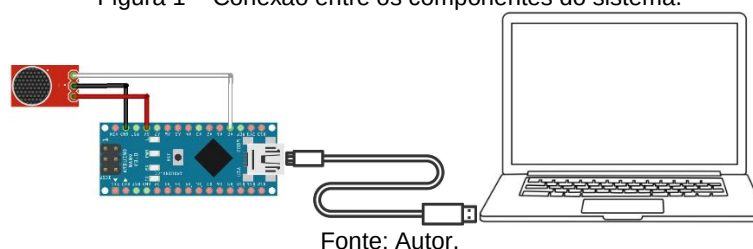
A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

custo relativamente baixo. A faixa dinâmica dos microfones eletretos (especialmente o ruído de fundo) não é tão boa quanto a de outros tipos de microfones. Além disso, o uso de microfones eletretos em aplicações de alta largura de banda (por exemplo, música) geralmente requer algumas compensações de desempenho (BAKHOUM, CHENG, 2011).

Após sua criação, os microfones condensadores de eletreto receberam diversas melhorias, como apresentado por Riko et. al (2005), onde uma nova estrutura de filtro frontal foi introduzida para proteger contra água, sendo essa proteção composta por uma malha acusticamente transparente, com um revestimento repelente que impede a entrada de água, mas não diminuiu transmissão acústica.

Para captura do som da articulação do joelho, foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados composto por um módulo de microfone de eletreto MAX4466 que envia o sinal elétrico para um microcontrolador Arduino do modelo Nano, que por sua vez envia os dados a um computador por meio de um cabo USB, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Conexão entre os componentes do sistema.



Fonte: Autor.

Para gravação eletrônica dos dados, foi implementado um programa no IDE Arduino que lê a entrada analógica A0 do microcontrolador Arduino e envia a informação para a porta serial com uma taxa de transmissão de 115200 bps (bits por segundo). Por meio do Monitor Serial do IDE Arduino, os dados são copiados e gravados numa planilha de dados.

Foram realizados 4 testes diferentes de aquisição, para investigar se esse tipo de microfone consegue realizar a aquisição de sons do joelho, sendo eles:

1. Som do ambiente (Vazio);
2. Som de voz com frequência dominante de 120Hz;
3. Som do joelho com microfone posicionado sobre o tubérculo tibial;
4. Som do joelho com microfone posicionado sobre a patela;

Após gravação dos dados de cada teste, para processamento dos dados adquiridos, foi utilizado o software GNU Octave Versão 8.3.0 para cálculo da Transformada Rápida de Fourier (FFT – Fast Fourier Transform). A Figura 2 mostra os dados adquiridos em cada teste.

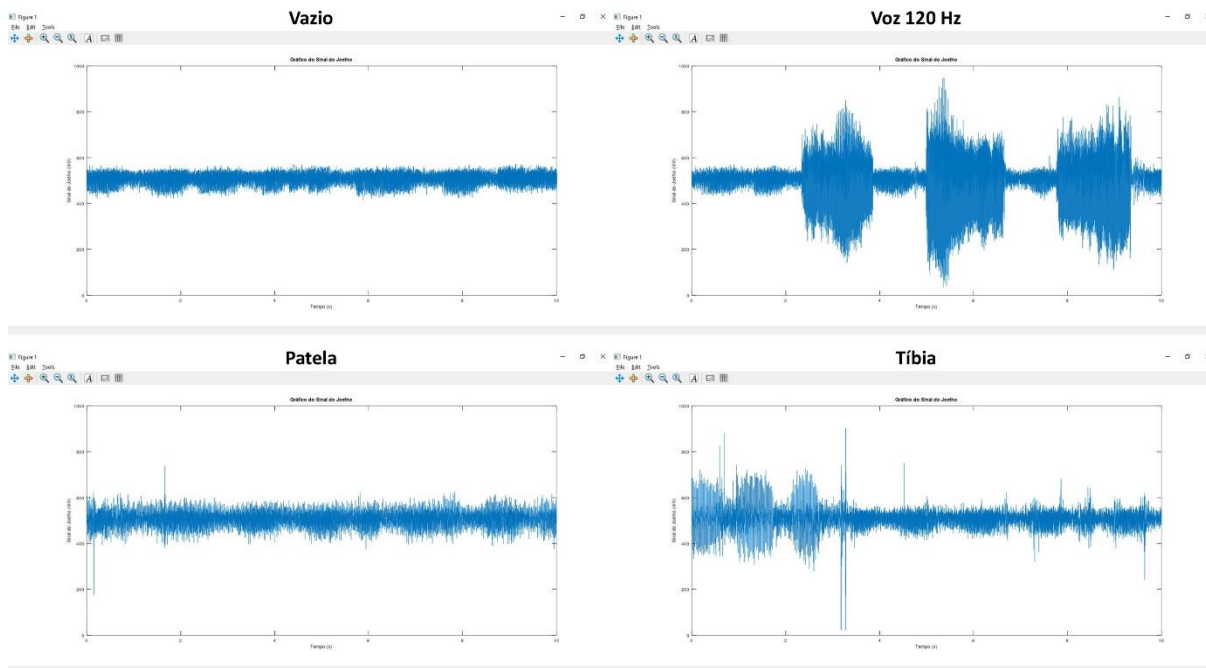
Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade do Vale do Paraíba, sob o número de protocolo CAAE 88243825.4.0000.5503, em conformidade com a Resolução CNS 466/2012.

Resultados

Após cálculo das Transformadas Rápidas de Fourier, foi possível analisar as respostas no espectro de frequência de cada teste realizado, conforme mostrado na Figura 3. Ressalta-se que o sistema de aquisição ofereceu uma frequência de amostragem de 900Hz.

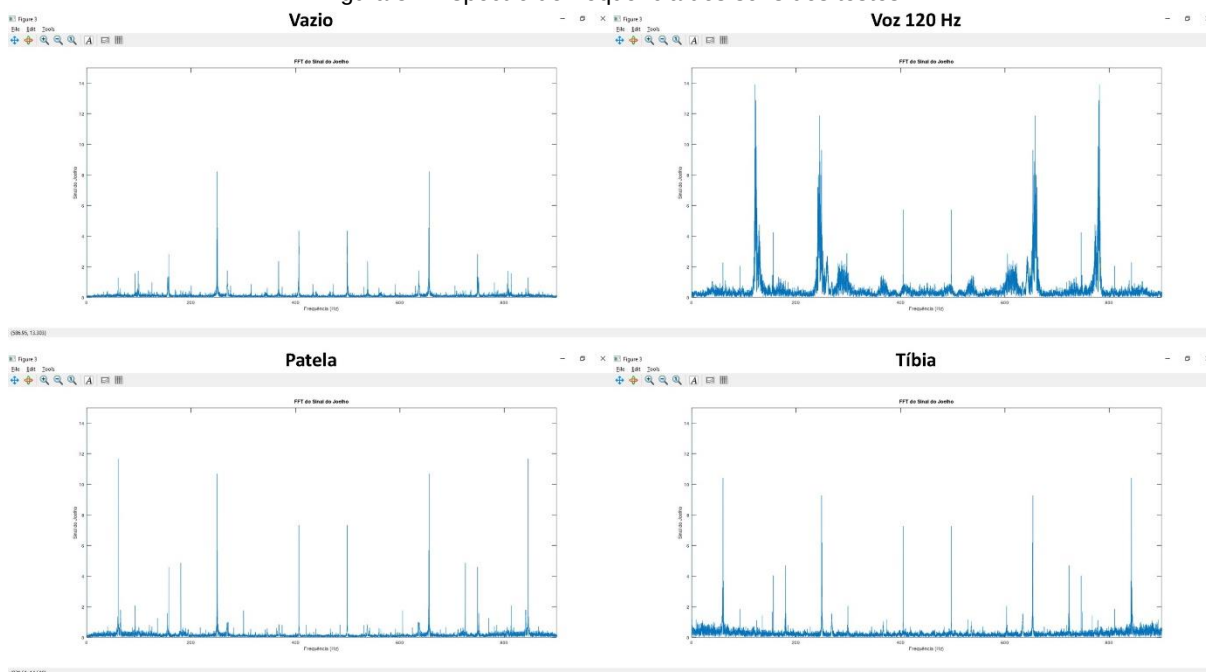
A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Figura 2 – Aquisição dos sons dos testes.



Fonte: Autor.

Figura 3 – Espectro de frequência dos sons dos testes.



Fonte: Autor.

Discussão

A forma de onda das aquisições de som dos testes não mostra muita informação. Apenas nota-se que o ruído do ambiente de fundo (Teste 1), que é mínimo, está presente em todas as aquisições dos testes, e que o som da voz com 120 Hz (Teste 2) possui um grande nível de sinal, tendo em vista a grande amplitude do som da voz utilizada nesse teste em comparação com a baixa amplitude do som do joelho dos outros dois próximos testes.

Analisando o espectro de frequência dos testes, observa-se claramente em todos os testes a presença de harmônicos de frequência (picos em 60Hz, 120Hz e 240Hz), provavelmente proveniente da rede de alimentação. Essa ocorrência sugere a utilização de baterias para alimentação do sistema, trabalhando de forma estanque da rede elétrica de alimentação das tomadas. No teste da voz (Teste 2), houve o aparecimento predominante da frequência excitada de 120 Hz, indicando que o sistema se comportou de maneira satisfatória, pois foi capaz de capturar uma frequência conhecida. Nos testes da tíbia e patela (Testes 3 e 4), houve o aparecimento de outros picos de frequência, similares entre si, mas diferentes dos testes 1 e 2, indicando que foi capaz de capturar ruídos provenientes do joelho, mesmo que de baixa amplitude sonora.

Conclusão

Com o trabalho, foi possível desenvolver um sistema capaz de realizar a captura de sons provenientes da articulação do joelho, por meio de um microfone de eletreto e microcontrolador Arduino. Após aquisição, gravação e processamento dos dados, foi possível investigar e distinguir a presença de frequências comuns entre os testes e algumas frequências específicas de cada teste. A Transformada Rápida de Fourier se mostrou uma excelente ferramenta para análise dos sinais capturados do joelho. Por fim, o microfone de eletreto se mostrou um promissor componente para ser utilizado no desenvolvimento de métodos de diagnóstico de patologias na articulação do joelho.

Referências

ABULHASAN J. F., GREY M. J. **Anatomy and Physiology of Knee Stability**. Journal of Functional Morphology and Kinesiology. 2017; 2(4):34. <https://doi.org/10.3390/jfmk2040034>.

AHMED N, ZHU Y. **Early Detection of Atrial Fibrillation Based on ECG Signals**. Bioengineering (Basel). 2020 Feb 13;7(1):16. doi: 10.3390/bioengineering7010016. PMID: 32069949; PMCID: PMC7148541.

ANDERSEN R. E., ARENDT-NIELSEN L., MADELEINE P. **A Review of Engineering Aspects of Vibroarthrography of the Knee Joint**. Critical Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine 28 (2016): 13-32. DOI: 10.1615/CritRevPhysRehabilMed.2016017185.

ARDUINO. **Whats is Arduino?** 2022. Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino>>. Acesso em 08/08/2024.

BAKHOUM E. G., CHENG M. H. M. **Novel Electret Microphone**. In IEEE Sensors Journal, vol. 11, no. 4, pp. 988-994, April 2011, doi: 10.1109/JSEN.2010.2077276.

BASSIOUNI, H. M. **Phonoarthrography: A New Technique for Recording Joint Sounds, Osteoarthritis - Diagnosis, Treatment and Surgery**. InTech, Mar. 02, 2012. doi: 10.5772/25981.

DANGELO, J.G.; FATTINI, C.A. **Anatomia humana básica**. São Paulo: Atheneu, 2000.

FRANK C. B., RANGAYYAN, R. M., BELL G. D. **Analysis of Knee Joint Sound Signals for Non-Invasive Diagnosis of Cartilage Pathology**. IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY MAGAZINE. 1990.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

INOUE J., NAGATA Y., SUZUKI K. **Medição do som da articulação do joelho usando um microfone** (Traduzido do japonês). The UOEH Association of Health Sciences. 1986.

KHOKHLOVA L., KOMARIS D. -S., TEDESCO S. E O'FLYNN B., **Assessment of Hip and Knee Joints and Implants Using Acoustic Emission Monitoring: A Scoping Review**. In IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 13, pp. 14379-14388, 1 July1, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2020.3045203.

KIM K. S., LEE S. O., SEO J. H., SONG C. G. **Classification of Joint Pathology using an Acoustical Analysis of Knee Joint Sound**. IEEE Biomedical Circuits and Systems (BIOCAS). 2006.

KIM K. S., SEO J. H., SONG C. G. **An Acoustical Evaluation of Knee Sound for Non-invasive Screening and Early Detection of Articular Pathology**. Springer - Journal of Medical Systems. 2012.

KIM K. S., SONG C. G., SEO J. H. **Feature extraction of knee joint sound for non-invasive diagnosis of articular pathology**. IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference. 2008.

KIM S. K., SEO J. H., KANG J. U., SONG C. G. **An enhanced algorithm for knee joint sound classification using feature extraction based on time-frequency analysis**. Elsevier - Computer Methods and Programs in Biomedicine. 2009.

OLORUNLAMBE K. A, SHEPHERD D. E. T., DEARN K. D. **A review of acoustic emission as a biotribological diagnostic tool**. Tribology - Materials, Surfaces & Interfaces. 2019;13(3):161-171. doi:10.1080/17515831.2019.1622914.

Riko Y., Funakoshi N., Shimizu T., Yamauchi G., Yasuno Y. **Environmentally robust electret condenser microphone**. 2005. 12th International Symposium on Electrets, Salvador, Brazil, 2005, pp. 382-385, doi: 10.1109/ISE.2005.1612403.

SONG C. G., KIM K. S. SEO J. H. **Non-invasive Monitoring of Knee Pathology based on Automatic Knee Sound Classification**. Articular Sound and Clinical Stages in Knee Arthropathy. 2009.

WU H, DYSON M, NAZARPOUR K. **Arduino-Based Myoelectric Control: Towards Longitudinal Study of Prosthesis Use**. Sensors (Basel). 2021 Jan 24;21(3):763. doi: 10.3390/s21030763. PMID: 33498801; PMCID: PMC7866037.

YAMAHA. **Quais tipos de microfone são usados com sistemas de PA?** Disponível em: <<https://br.yamaha.com/pt/products/contents/proaudio/musicianspa/equipments/microphone.html>>. Acesso em: 10/09/2024.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e da Fundação Valeparaibana de Ensino (FVE).