



Desenvolvimento de um Instrumento Digital para o Tratamento da Artrite

Development of a Digital Musical Instrument for Arthritis Treatment

Lucas Carvalho¹, Andres Eduardo Coca Salazar²

RESUMO

Define-se como artrite reumatóide uma doença crônica autoimune incurável, cujo grau de risco varia entre pacientes. Apesar de incurável, existem tratamentos que incluem medicação e/ou fisioterapia para mitigação das dores e seu avanço. Contudo, os tratamentos fisioterapêuticos, devido a sua natureza repetitiva, podem ser desmotivantes aos pacientes. A musicoterapia pode ser uma alternativa para aumentar a adesão aos tratamentos e se mostra promissora na redução de dores e estresse. Assim, neste trabalho foi iniciado o desenvolvimento um instrumento digital musical programável para o auxílio no tratamento de artrite. O instrumento é operado pelo paciente mediante o movimento das mãos sobre um aparelho flexor, cuja pressão aplicada é mensurada por um sensor RP-C18.3-ST e utilizada para o controle de frequência na etapa de síntese. Foi utilizado um microcontrolador para a síntese sonora subtrativa, devido a sua natureza de fácil programação. A resposta temporal desse instrumento foi analisada, mostrando que a síntese ocorreu da maneira esperada. Os resultados obtidos são promissores e espera-se que futuramente o sistema aqui desenvolvido possa ser utilizado para tratar pacientes reais.

PALAVRAS-CHAVE: Artrite; Exercícios terapêuticos; Teoria Musical.

ABSTRACT

Rheumatoid arthritis is defined as an incurable chronic autoimmune disease, whose degree of risk varies between patients. Despite being incurable, there are treatments, including medication and physical therapy, to mitigate pain and its advancement. However, physiotherapeutic treatments, due to their repetitive nature, can become uninteresting to the patients. Music therapy can be an alternative way to boost adherence to treatment and shows promising results in pain and stress relieve. Therefore, in this work a digital programmable music instrument was partially developed to assist in arthritis treatment. This instrument is operated by the patient by squeezing a hand grip device, and this pressure is measured by a RP-C18.3-ST sensor and used to control the frequency in the synthesis step. A microcontroller was used to perform subtractive synthesis, due to its easily programmable nature. The instrument's time response was analyzed, showing that the synthesis process occurred as planned. The results are promising, and hopefully the system developed here can be used to treat real patients in the future.

KEYWORDS: Arthritis; Therapeutic exercises; Music theory.

INTRODUÇÃO

A artrite reumatóide é uma doença crônica autoimune que, no ano de 2019, afligia cerca de 18 milhões de pessoas mundialmente, causando inflamações no corpo e geralmente manifestam dores

¹ Bolsista do PIBIC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: lucascarvalho.2000@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 9882337238456651.

² Docente no Curso de Engenharia de Computação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: andressalazar@utfpr.edu.br. ID Lattes: 9651142799957514.



nas articulações ¹. Os tratamentos para essa doença geralmente incluem fármacos e fisioterapia (LINEKER et al., 2001). Contudo, os tratamentos fisioterapêuticos podem se tornar sóbrios e repetitivos. Assim, faz-se útil unir esses exercícios a formas de entretenimento, como a música, de modo a motivar os pacientes e aumentar sua adesão aos tratamentos.

O uso de música como técnica terapêutica não é novidade. O trabalho de Paul et al. (2000) demonstra que o uso de musicoterapia em casos de reabilitação diminui o desconforto e a dificuldade associados aos exercícios e atividades terapêuticas, além de aumentar a adesão desses pacientes aos tratamentos e sua qualidade de vida. Por outro lado, existem também os instrumentos musicais dedicados ao aumento do acesso à música entre pessoas com deficiência, como o Thérémin Óptico Digital (RAMOS; COCA, 2021), que foi pensado para esse fim.

Assim, esse projeto objetivou o desenvolvimento de um instrumento musical digital para o tratamento de artrite utilizando um sensor de pressão acoplado a um aparelho flexor de mão, onde o sinal é processado por um microcontrolador e adequado mediante técnicas de processamento digital de sinais. Foi testada a resposta temporal desse instrumento em um osciloscópio, variando seus parâmetros. A partir dos testes, verificou-se o seu funcionamento.

Na seção Referencial Teórico, é feito um sucinto resumo acerca de teoria musical, artrite e instrumentos digitais. Na seção Materiais e Métodos será apresentado o desenvolvimento do projeto. Na seção Resultados e Discussão, serão apresentados os resultados obtidos experimentalmente. Por fim, na seção Conclusão, serão apresentadas as considerações finais e os trabalhos futuros.

REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa seção, serão apresentados conceitos sobre artrite, teoria musical e instrumentos musicais digitais.

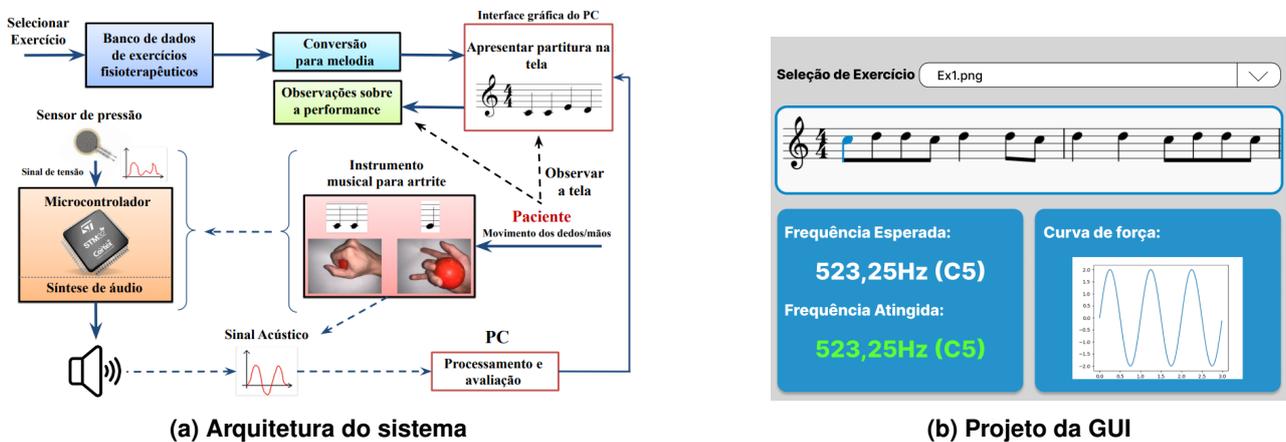
- **Artrite:** Artrite é um termo derivado do grego que significa “doença nas juntas” e é definida como uma inflamação aguda ou crônica nas articulações que é, comumente, acompanhada de dor (SENTHELAL et al., 2023). Um dos tipos crônicos de artrite é a artrite reumatóide, que é uma doença sistêmica autoimune cuja severidade varia entre pacientes.
- **Teoria Musical:** A música é uma forma de arte baseada na produção sonora. Todo som musical possui quatro propriedades: duração (tempo de propagação da onda sonora), intensidade (amplitude, indica o nível de “força” do som), altura (frequência, se é grave ou agudo) e timbre (características intrínsecas à origem do som) (LACERDA, 1967).
- **Instrumentos Musicais Digitais:** Da junção entre teoria musical e teoria da computação, surgiram os instrumentos musicais digitais. Neles, o processo de síntese, i.e., da criação do sinal acústico é realizado dentro de uma unidade de processamento lógico. Podem receber sinais analógicos ou digitais para controle de amplitude (intensidade) e frequência (altura) (FRID, 2019).

¹ Rheumatoid arthritis, disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/rheumatoid-arthritis>

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi projetada uma arquitetura para o sistema, como consta na Fig. 1(a). Então, foram convertidos alguns exercícios fisioterapêuticos em melodias, de modo a popular um banco de dados. Essas partituras são então apresentadas em uma interface gráfica (GUI) para o usuário em um computador pessoal (PC). A GUI foi desenvolvida utilizando a linguagem Python e a biblioteca PySimpleGui. Ela é composta por quatro componentes principais: um menu para seleção de exercício; dois compassos de uma partitura em 4/4 representando musicalmente o exercício; uma caixa indicando se a nota esperada foi atingida e um gráfico que apresenta a força aplicada ao longo do tempo. Essas observações sobre a performance serão feitas com base no sinal de pressão do instrumento. Um mocape da tela principal é exposto na Fig. 1(b).

Figura 1 – Arquitetura e Projeto de GUI



Fonte: Os autores

Para a síntese sonora foi utilizada uma variação da síntese subtrativa empregada no Theremin Óptico Digital (RAMOS; COCA, 2021), que consiste em tomar uma onda harmonicamente rica e filtrar as altas frequências para modelar as características sonoras do instrumento. Foi empregado o microcontrolador STM32F411CEU6, já que possui instruções de processamento digital de sinais.

Como entrada do sistema, tem-se um sinal adquirido por meio de um divisor de tensão entre um resistor sensível à força (FSR, do inglês *Force Sensitive Resistor*), acoplado a um aparelho flexor de mão, e um resistor de $2k\Omega$. Matematicamente, seu valor V_p é dado pela Eq. (1), onde $R_{f_{FSR}}$ é o valor de resistência do FSR. Ademais, segundo o manual², $R_{f_{FSR}}$ varia em função da força aplicada como consta na Eq. (2). Assim, para determinar a curva de força da Fig. 1b, basta substituir a Eq. (2) na Eq. (1) e reescrever isso em função de F , resultando na Eq. (3).

$$V_p = V_{cc} \cdot \frac{2000}{2000 + R_{f_{FSR}}}, \quad (1)$$

$$R_{f_{FSR}} = 153,18F^{-0,699}, \quad (2)$$

² RP-C18.3-ST Thin Film Pressure Sensor, disponível em: <https://www.digikey.kr/htmldatasheets/production/3704138/0/0/1/sen0294.html>

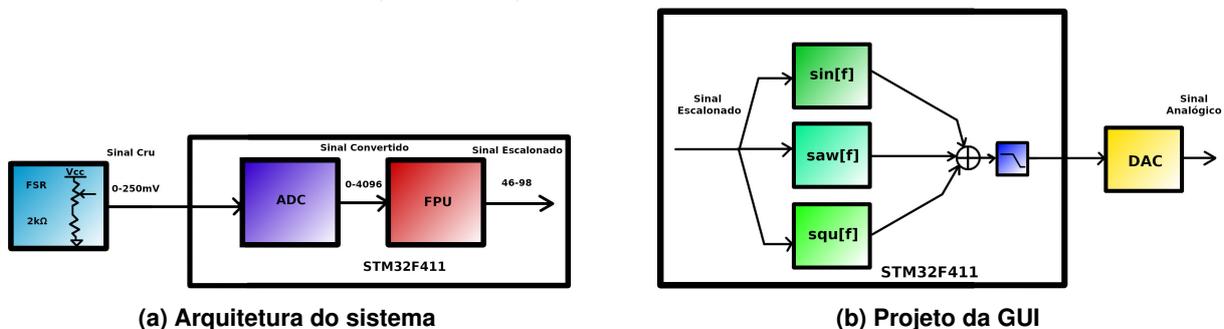
$$F = \left(\frac{1}{153,18} \left(\frac{V_{cc}}{V_p} \cdot 2000 - 2000 \right) \right)^{-\frac{1}{0,699}}. \quad (3)$$

Na sequência, o sinal é mapeado de sua faixa original (0 a 250mV) para valores MIDI³ entre 48 e 96 (C3 a C7, 4 oitavas). O processo de conversão é dado na Fig. 2(a). O valor MIDI resultante é utilizado para controlar a frequência dos três osciladores disponíveis: seno, onda quadrada e dente de serra. Ademais, são utilizados potenciômetros lineares de 5kΩ para determinar a amplitude de cada um desses osciladores (entre 0 e 2¹²). Essas ondas são então somadas e filtradas por um filtro passa-baixa (LPF, do inglês *Low-Pass Filter*) de média móvel exponencial (EMA, do inglês *Exponential Mean Average*), que foi escolhido devido a sua facilidade de implementação. Matematicamente, o sinal discreto gerado $Y[f]$, no domínio da frequência, é expresso na Eq. (4), onde G_{lpf} é a função de transferência do LPF; A_1 , A_2 e A_3 são, respectivamente, as amplitudes dos osciladores seno, onda dente de serra e onda quadrada calculadas a partir dos potenciômetros e f_v é a frequência calculada ao escalar V_p .

$$Y[f_v] = G_{lpf}[f_v] \cdot (A_1 \sin[f_v] + A_2 \text{saw}[f_v] + A_3 \text{squ}[f_v]). \quad (4)$$

Então, $Y[f]$ é transmitido utilizando o protocolo de som inter-integrado (I2S) para um conversor analógico-digital (DAC) UDA1334ATS. Assim, o sinal acústico resultante é amplificado e depositado em um alto-falante. Essa etapa de síntese é apresentada na Fig. 2(b). Por fim, esse sinal sonoro, junto com o sinal de pressão de entrada, são devolvidos ao PC para plotagem e análise.

Figura 2 – Diagramas de Conversão e Síntese



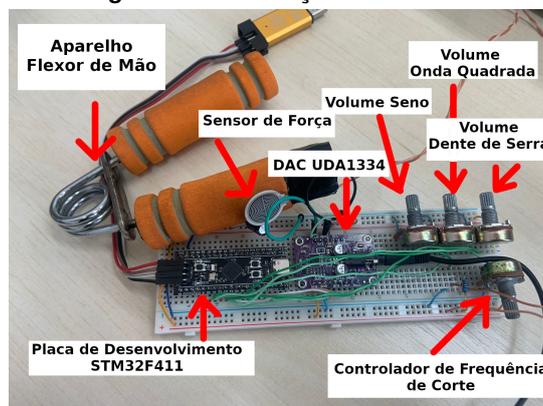
Fonte: Os autores

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma prova de conceito do instrumento proposto foi implementada em uma placa de ensaio. Essa montagem é exposta na Fig. 3. Nela, pode-se observar o instrumento efetivo (o acoplamento entre o FSR e o aparelho flexor de mão); a placa de desenvolvimento, que processa digitalmente os sinais acústicos; os potenciômetros que controlam as amplitudes dos osciladores e a frequência de corte do LPF; e o conversor digital para analógico, que devolve ao usuário o sinal acústico.

³ Esses valores, entre 0 e 127, representam frequências musicais computacionalmente

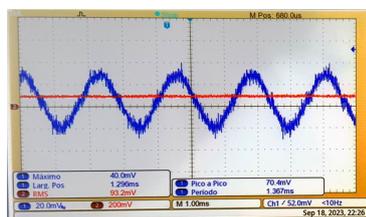
Figura 3 – Construção do sistema



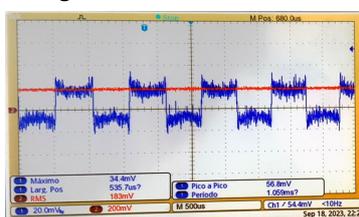
Fonte: Os autores.

Para a obtenção dos sinais de saída, mediante a entrada do FSR, foi utilizado o osciloscópio Tektronix TBS1102B. Nas Figs. 4(a), 4(b) e 4(c) são dadas, respectivamente, as medidas dos osciladores senoidal, onda quadrada e onda dente de serra. Nas três medidas a amplitude dos sinais, em azul, foi medida ao seu máximo quando submetidas à perturbação do sinal de pressão, em vermelho. Ressalta-se que o ruído presente é benéfico para a construção de complexidade sonora do instrumento.

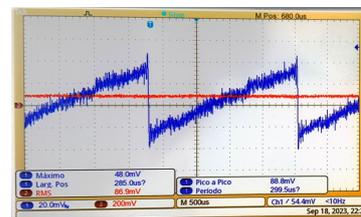
Figura 4 – Ondas medidas



(a) Senóide medida



(b) Onda quadrada

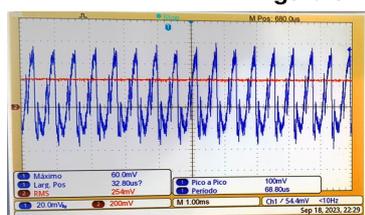


(c) Onda dente de serra

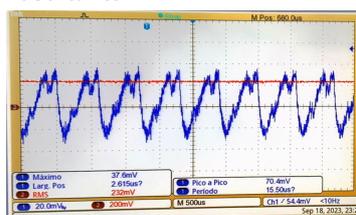
Fonte: Os autores

Ademais, a Fig. 5 apresenta a onda resultante da soma das saídas dos três osciladores, com controles de amplitude e frequência no máximo. Na Fig. 5(a) está exposta a onda não filtrada, rica em harmônicos, enquanto na Fig. 5(b) aparece a saída filtrada, onde se observa uma maior suavidade nas transições. Nota-se que há uma forte atenuação na versão filtrada, uma vez que são dizimadas as componentes de alta frequência.

Figura 5 – Onda resultante



(a) Onda não filtrada



(b) Onda filtrada

Fonte: Os autores



CONCLUSÃO

No presente trabalho foi implementado um instrumento musical digital que, por meio de uma interface gráfica de usuário, poderá ser utilizado como suporte ao tratamento fisioterapêutico de artrite reumatóide nas mãos. Como o timbre desse instrumento é programável, o paciente tem liberdade para configurá-lo da maneira que mais o agrada. Em trabalhos futuros, espera-se que esse sistema seja testado em pacientes reais, de modo a avaliar sua eficácia quanto ao tratamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UTFPR-TD pela bolsa de extensão através do Edital PROPPG N^o 02/2022, bem como pela concessão de laboratórios e equipamentos.

Disponibilidade de Código

Os códigos desenvolvidos pelos autores encontram-se disponíveis no GitHub ⁴.

Conflito de interesse

Não há conflitos de interesses.

REFERÊNCIAS

- FRID, E. Accessible Digital Musical Instruments—A Review of Musical Interfaces in Inclusive Music Practice. **Multimodal Technologies and Interaction**, MDPI AG, v. 3, n. 3, p. 57, jul. 2019. DOI: [10.3390/mti3030057](https://doi.org/10.3390/mti3030057).
- LACERDA, O. **Teoria Elementar da Música**. [S.l.]: Ricordi, 1967.
- LINEKER, S; BELL, M; WILKINS, A; BADLEY, E M. Improvements following short term home based physical therapy are maintained at one year in people with moderate to severe rheumatoid arthritis. **The Journal of Rheumatology**, The Journal of Rheumatology, v. 28, n. 1, p. 165–168, 2001. ISSN 0315-162X.
- RAMOS, M; COCA, A. Optical Digital Theremin with Audio Synthesis and Graphic Interface. **International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing**, North Atlantic University Union (NAUN), v. 15, p. 1613–1623, nov. 2021. DOI: [10.46300/9106.2021.15.174](https://doi.org/10.46300/9106.2021.15.174).
- SENTHALAL, S; LI, J; ARDESHIRZADEH, S; THOMAS, M A. **Arthritis**. [S.l.]: StatPearls Publishing, 2023.

⁴ <https://github.com/lucicarv/F411Synth>