



TherEMGin: desenvolvimento de um theremin controlado por sinais eletromiográficos (EMG)

TherEMGin: development of a theremin controlled by electromyographic signals (EMG)

Luiz Fernando da Costa Pereira¹, Andrés Eduardo Coca Salazar²

RESUMO

Embora a música seja universal entre os humanos, o mesmo não pode ser dito com relação a ser músico, já que os instrumentos musicais geralmente requerem uma coordenação motora precisa, especialmente nas mãos, então, para aqueles que sofrem com limitações na movimentação do membro, acaba sendo quase impossível tocar um instrumento. O Theremin é um caso especial, pois embora sua interpretação não obrigue nenhum toque físico no aparelho, ainda é preciso ter movimentos extremamente precisos com os dedos para executar uma nota musical da maneira mais estável possível. O presente artigo propõe uma adaptação do Theremin Óptico Digital para que seja controlado utilizando sinais eletromiográficos (EMG). Primeiramente foi projetado um modelo para o mapeamento das notas musicais naturais, considerando uma oitava como referência, obtendo como resultado a equação que relaciona o ângulo do movimento com a frequência. Depois, foi preciso pré-processar o sinal EMG, filtrá-lo e obter um sinal médio, interpretando-o como controle de amplitude do som. Espera-se que o aparelho possa ser utilizado para tratamentos medicinais e ensino musical para pessoas com doenças neuromusculares.

PALAVRAS-CHAVE: eletromiografia; música; theremin.

ABSTRACT

While music is universal between humans, the same can not be said about being a musician. Musical instruments generally require accurate motor skills, especially in the hands. Therefore, for people that suffers with movement limitation in this region, playing an instrument turns out to be almost impossible. The Theremin is a special case, because while its interpretation does not obligate any physical touch on the device, it is still needed extremely precise finger movements to execute a musical note as stable as possible. This article proposes an adaptation for the Optical Digital Theremin, so that it be controlled by using eletromiography (EMG) signals. Firstly it was designed a model to map the natural musical notes, considering an octave as reference, obtaining as a result the equation linking the movement's angle with the frequency. Then, it was needed to preprocess the EMG signal, filter it and get a mean signal and interpret it as control of amplitude of the sound. It is expected that the device might be used for medical treatments and in musical education for people with neuromuscular diseases.

KEYWORDS: eletromiography; music; theremin.

INTRODUÇÃO

Uma das maiores qualidades da arte da música é seu caráter universal. Ela provoca uma reação especial nos cérebros humanos, fazendo com que diversas áreas diferentes conversem entre si (LEVITIN, 2006). O resultado disso é que um simples arranjo de notas e acordes pode se tornar

¹ Bolsista da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: luizfercp22@gmail.com. ID Lattes: 1176389434312491.

² Docente no Curso Engenharia da Computação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: addressalazar@utfpr.edu.br. ID Lattes: 9651152799957514.



algo muito valioso no subjetivo, além de ser responsável por diversos efeitos na fisiologia de cada indivíduo. É por isso que a Musicoterapia tem sido utilizada no tratamento de transtornos psicológicos e doenças cardíacas (LEVITIN, 2006). Entretanto, por mais que a música possua essa universalidade, o mesmo não pode ser dito quanto a ser um músico, já que muitas pessoas são incapazes de fazer isso, devido a limitações fisiológicas.

O theremin se trata de um instrumento musical melódico eletrônico. Esse instrumento é originalmente controlado por duas antenas, uma responsável pela frequência do som, e a outra pela sua intensidade (SKELDON, 1998). Uma versão do Theremin, o Theremin Óptico Digital (TOD), voltada a pessoas com incapacidades nos dedos, foi proposto por Ramos e Coca (2021). O aparelho utiliza sensores ópticos dispostos horizontalmente, ao invés de antenas analógicas, e possui uma relação linear entre frequência da nota e distância das mãos, além de utilizar uma interface gráfica extremamente intuitiva para a sintetização do som (RAMOS; COCA, 2021), de forma a tornar a composição musical mais acessível à essas pessoas.

Este projeto propõe uma adaptação para o TOD, para ser controlado através de sinais eletromiográficos (EMG) - chamado TherEMGim - podendo assim atender à indivíduos com mobilidade limitada, incapacitados por doenças neurofisiológicas, que afetam principalmente a região das mãos e dos dedos. Ademais, o aparelho pode ser usado para tratamentos por meio da Musicoterapia ativa, incentivando na movimentação das áreas afetadas.

Neste artigo será apresentado o andamento do projeto até o presente momento. Na primeira seção, tem-se o funcionamento do Theremin e uma breve introdução ao sinal EMG. Depois, é explicada a metodologia utilizada para o modelo do projeto, juntamente com o processamento de sinais EMG, obtendo os resultados descritos na seção seguinte. Por fim, encontram-se as conclusões e as referências.

REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são abordados alguns conceitos necessários para a compreensão do trabalho relacionado ao theremin, além de uma visão geral na fisiologia que envolve o sinal eletromiográfico.

- **THEREMIN CONVENCIONAL:** O físico Leon Theremin trabalhava no desenvolvimento de métodos para medição de altas frequências, quando percebeu que a capacitância das antenas variavam conforme suas mãos se movimentavam perto delas. Leon utilizou isso para variar a frequência de osciladores BFO (*Beat Frequency Oscillator*). A interpretação do instrumento¹ se dá com o músico alterando as frequências sonoras, ao passo que a distância de sua mão varia em relação à antena vertical. O mesmo funcionamento vale para a antena horizontal de amplitude (SKELDON, 1998). Conforme a frequência do primeiro oscilador ω_1 varia, o sinal de saída varia proporcionalmente, em função das diferenças de frequências como mostra a Eq. (1), onde ω_2 é a frequência fixa do segundo oscilador. O mesmo vale para o controle de amplitude. A saída é um sinal de controle DC, que varia em função da amplitude alterada pela distância da

¹ Neste enlace encontra-se o Doodle em celebração ao 105º aniversário da célebre thereminista Clara Rockmore: <https://www.google.com/doodles/clara-rockmores-105th-birthday?hl=pt-BR>.

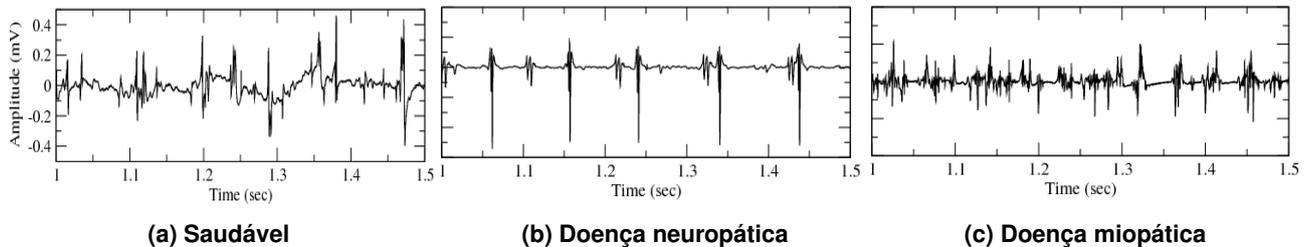


mão (SKELDON, 1998).

$$V_{out} = \frac{A}{2} \cos(\omega_1 - \omega_2)t. \quad (1)$$

- **SINAL EMG:** De acordo com Swaroop e Maninder (2017), eletromiografia é o sinal utilizado para análise de doenças neurofisiológicas. Abaixo, as imagens do laboratório PhysioNet evidenciam como doenças neuromusculares podem afetar o sinal EMG. Em comparação com um sinal saudável (Fig. 1(a)) um paciente com neuropatia (Fig. 1(b)) contém amplitudes maiores em determinadas frequências, porém em menor quantidade, causado pela falta de unidade motora (sistema entre um neurônio responsável por um conjunto de fibras musculares) naquela região. Com doenças miopáticas (Fig. 1(c)), o número de unidade motora se mantém, contudo seu tamanho diminui, reduzindo amplitude dos pulsos (SWAROOP; MANINDER, 2017).

Figura 1 – Comparação entre sinais eletromiográficos (EMG)



Fonte: Adaptado de Goldberger et al. (2000)

MATERIAIS E MÉTODOS

Para projetar o theremin controlado por sinais EMG, foi preciso gerar uma regra para o controle de frequência, visando que não necessite de movimentos excessivos dos braços. Pensando nisso, foi desenvolvido o modelo abaixo, considerando como entrada, a angulação θ do movimento para determinação da frequência. A Fig. 2(a) apresenta um esquema de mapeamento considerando a quarta oitava como referência. Conforme θ aumenta da primeira nota (C4) até a oitava acima (C5), a frequência deve aumentar linearmente, como mostra o gráfico da Fig. 2(b) ao lado. Utilizando os pontos (1, 18) e (144, 8) da Fig. 2(b), encontra-se o coeficiente linear $m = \frac{7}{126}$ da equação da reta.

Substituindo m e o ponto $(s_0, \theta_0) = (1, 18)$ na Eq. (2), resulta na relação semitons-ângulo a seguir:

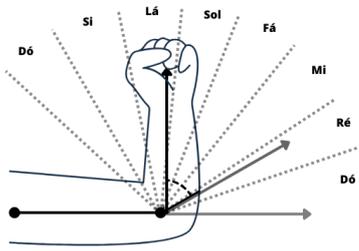
$$s - s_0 = m(\theta - \theta_0) \implies s = \frac{1}{18}\theta. \quad (2)$$

Substituindo agora, o número de semitons $s = f(\theta)$, e a referência $f_0 = 261.6Hz$ (C4), tem-se:

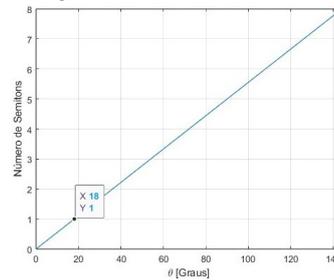
$$f = 2^{(s/12)} f_0 \implies f = 2^{(\theta/216)} f_0, \quad 18^\circ \leq \theta \leq 144^\circ. \quad (3)$$

A título de exemplo, se considerar $\theta = 90^\circ$, a frequência de saída será $f = 415.26Hz$ correspondente a nota G#4 da tabela MIDI.

Figura 2 – Mapeamento das notas e formulação linear



(a) Esquema para mapeamento das notas



(b) Gráfico para formulação das notas

Fonte: Autoria Própria.

- **CÁLCULO DO VALOR EFICAZ:** Para processar o sinal EMG, primeiro deve-se extrair o sinal médio, ou *Root Mean Square* (RMS), para ser usado como medida de intensidade sonora nas seguintes etapas do projeto. Antes de calcular o RMS ponto a ponto, é preciso retificar o sinal bruto para evitar uma média de valores iguais, ou próximas a nulo. Então, foi aplicado a retificação de meia onda, onde todos os valores negativos são substituídos por zeros, ou seja, para todo valor do sinal $V_{emg}(t_i)$ em que $V_{emg}(t_i) \leq 0$, considera-se $V_{emg}(t_i) = 0$.

Agora é possível extrair o sinal RMS por meio de um filtro passa baixas. O filtro foi implementado utilizando o algoritmo "*Butterworth*", onde um dos parâmetros requer uma frequência de corte normalizada. Para obter esse parâmetro, foi preciso garantir que não acontecesse o efeito *aliasing*, atribuindo a seguinte relação à frequência de Nyquist: $f_{Nyquist} \leq f_{max} / 2$. Com isso, obtém-se uma frequência angular normalizada ω_N , em radianos através da razão $\omega_N = f_c / f_{Nyquist}$, em função da frequência de corte f_c .

O filtro "*Butterworth*" foi projetado para evitar ao máximo o efeito *ripple* (oscilação) na banda de passagem. Para alcançar esse feito, o algoritmo implementa a seguinte Função de Transferência (FT):

$$G(\omega_N) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega_N^{2n}}}, \tag{4}$$

de ganho unitário $G(\omega_N)$, sendo n a "ordem" do algoritmo, ou número de polos. Vale observar que na Eq. (4), caso $\omega_N = 1$, tem-se $G(\omega_N) = 1 / \sqrt{2}$, que é equivalente à metade da potência do sinal, ou $-3dB$.

- **SINAL EMG NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA:** Quando capta-se um sinal analógico, pode-se esperar que ele venha com ruídos e interferências. No caso do EMG, existe uma grande probabilidade de haver distorções se ele for captado pela superfície (*Surface Eletromiography* - [SEMG]). Em baixas frequências, podem ser causadas por interferências de músculos adjacentes ou deslocamento dos eletrodos. Com o objetivo de minimizar esses artefatos, considera-se o sinal $V_{emg}[t]$ retificado, aplicado na Transformada Discreta de Fourier abaixo, sendo N o número de amostras:

$$F[\omega] = \sum_{k=1}^{N-1} V_{emg}[t] \epsilon^{-j2\pi/N}. \tag{5}$$



Assim, tem-se o algoritmo para tratamento do sinal EMG, o qual será utilizado para controle de amplitude do aparelho proposto neste projeto. Cabe para etapas futuras, testar sinais EMG de doenças neuromusculares e desenvolver um protótipo para o controle de frequência, com base no modelo apresentado na seção anterior.

CONCLUSÃO

Foi proposta uma nova versão do Theremin para operar com sinais EMG, com o intuito de que possa atender a pessoas com deficiências motoras nas mãos. O modelo teórico foi simulado e, aliado ao processamento e manipulação de sinais eletromiográficos, foram obtidos resultados promissores. Espera-se que o projeto possa evoluir para fases de prototipação e testes, até atingir seu maior objetivo, que se encontra no usuário final.

AGRADECIMENTOS

O presente artigo foi realizado com o apoio da UTFPR, Edital 02/2023.

DISPONIBILIDADE DE CÓDIGO

No rodapé encontra-se o código desenvolvido para o processamento do sinal EMG².

CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- GOLDBERGER, A. et al. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. **Circulation**, v. 101, n. 23, e215–e220, 2000. DOI: [10.1161/01.CIR.101.23.e215](https://doi.org/10.1161/01.CIR.101.23.e215).
- LEVITIN, D. **A Música no Seu Cérebro a Ciência de Uma Obsessão Humana**: a Ciência de Uma Obsessão Humana. [S.l.]: Dutton Penguin, 2006. 314 p. ISBN 9788547001230.
- 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, 2021. DOI: [10.46300/9106.2021.15.174](https://doi.org/10.46300/9106.2021.15.174).
- SKELDON, K. Physics of the Theremin. **American Journal of Physics**, 1998.
- SWAROOP, R; MANINDER, K. Classification of Myopathy and Neuropathy EMG signals using Neural Network. In **Proc. International Conference on circuits Power and Computing Technologies [ICCPCT]**, p. 1–5, 2017. DOI: [10.1109/ICCPCT.2017.8074406](https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2017.8074406).

² Enlace do repositório do GitHub com o código-fonte do Matlab: <https://github.com/Moskbr/TherEMGim.git>