



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## AFINADOR AUTOMÁTICO PARA CONTRABAIXO ACÚSTICO

**Thaís B. Slaviero**

Acadêmica do curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Passo Fundo

135070@upf.br

**Adriano L. Toazza**

Professor Doutor do curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Passo Fundo

toazza@upf.br

**Resumo.** *O contrabaixo acústico é o instrumento de maior tamanho da família das cordas, cujo som grave torna sua presença imprescindível nas orquestras e também na música popular. Contudo, para que esse som seja agradável aos ouvidos, cada uma de suas quatro cordas deve soar em uma frequência específica, ou seja, o instrumento deve estar afinado. Devido aos problemas encontrados na realização do processo de afinação por um contrabaixista, principalmente em relação à baixa sensibilidade do ouvido humano a frequências menores que 300 Hz, este trabalho apresenta a construção de um dispositivo microcontrolado que detecta o sinal sonoro do contrabaixo acústico, e atua de forma automática nas tarraxas do instrumento, ajustando a tração de suas cordas, enquanto o contrabaixista tem apenas a tarefa de tocar cada uma delas.*

**Palavras-chave:** *Contrabaixo acústico.*

*Processo de afinação. Frequência.*

### 1. INTRODUÇÃO

O contrabaixo acústico pertence ao grupo ou família das cordas devido ao modo como a onda sonora é gerada no instrumento. De acordo com Hoffer [1], instrumentos deste gênero produzem sons através vibração de suas cordas, sejam elas friccionadas por arco, ou ainda beliscadas

com os dedos. A onda sonora gerada possui, além de alguns harmônicos que definem o timbre do instrumento, uma frequência fundamental que é convencionalmente determinada por suas características para que o som produzido seja agradável e harmonioso aos ouvidos. Para atingir esse objetivo, no entanto, é necessário manter o instrumento afinado.

Existem várias formas de afinar um contrabaixo, e os métodos que mais se destacam atualmente são o “de ouvido”, com o uso de um dispositivo eletrônico ou ainda através de aplicativos de *smartphone*, sem qualquer acionamento automático. Esses sistemas se mostram funcionais, porém, o musicista costuma enfrentar problemas em relação à logística do instrumento, a influência do clima, ao ruído do ambiente e principalmente devido a baixa frequência das cordas.

No intuito de minimizar esses problemas e tornar o processo de afinação mais ágil, contribuindo para um bom desempenho de músicos de diversos níveis de estudo, surgiu a ideia de desenvolver um afinador automático para o contrabaixo acústico. O dispositivo foi construído para que possa ser acoplado ao contrabaixo, permitindo o ajuste das tarraxas que tracionam suas cordas, enquanto o contrabaixista tem apenas a tarefa de tocar cada uma delas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Construção do Instrumento

O contrabaixo acústico pode ser dividido em algumas partes, onde cada uma delas desempenha uma função específica, seja para gerar as ondas sonoras, amplificá-las ou mesmo para dar sustentação ao instrumento, como mostra a Fig. 1.

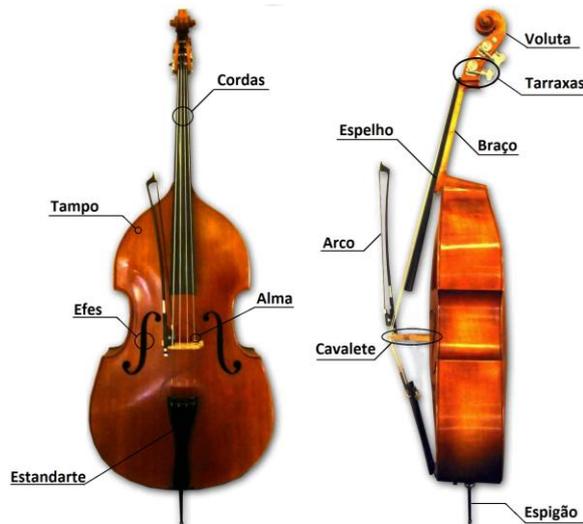


Figura 1. Partes do contrabaixo acústico

Dentre essas partes, é importante destacar a existência da voluta, a estrutura que abriga as tarraxas do instrumento. As tarraxas são as responsáveis por realizar o ajuste na afinação do contrabaixo, de forma que, girando-as no sentido anti-horário é possível aumentar a tração das cordas e tornar sua frequência fundamental mais aguda. Do contrário, com um giro no sentido horário, é possível soltar cada uma das cordas tornando, portanto, a sua frequência fundamental mais grave.

O cavalete é outro componente fundamental ao instrumento. Sua função é levar as vibrações das cordas até a superfície de madeira denominada tampo, para que possam ser amplificadas pela caixa acústica do instrumento (CUNHA, [2]). Nesse sentido um estudo de ZEVIN [3], constatou que é exatamente no cavalete que ocorrem os maiores picos de ressonância do

instrumento. Isso significa que ele é capaz de vibrar com a mesma frequência gerada pelas cordas, se mostrando o local mais adequado a captação do sinal sonoro do instrumento.

### 2.2 Afinação

Um contrabaixo afinado é aquele em que cada uma de suas quatro cordas estejam corretamente tracionadas por suas tarraxas de forma que as notas, da mais grave à mais aguda, soem, por padrão, em Mi (41,2 Hz), Lá (55 Hz), Ré (73,4 Hz) e Sol (98 Hz), ou ainda com uma pequena variação para cima ou para baixo de acordo com as preferências do musicista.

Essas frequências específicas, assim como a possível variação permitida delas, seguem um padrão estabelecido no século XX, que define o Lá da quarta oitava musical soando em 440 Hz como tom de referência padrão. Esse padrão pode ser reajustado para cima ou para baixo, de acordo com o que se deseja, desde que todas as notas da escala sejam reajustadas. Assim, sabendo que as frequências das notas do contrabaixo estão localizadas na primeira e na segunda oitava musical, a conversão do valor do padrão utilizado para a frequência delas é dada por relações matemáticas, estabelecidas com base no sistema temperado de afinação, que divide a oitava musical em doze intervalos iguais.

A Equação (1) apresenta a maneira de se obter o número de centos ( $n$ ), o menor intervalo musical existente, quando há alteração do tom de referência utilizado ( $A$ ) com relação ao tom padrão 440 Hz ( $B$ ). O valor de  $n$  é necessário para se determinar em quantos Hz a frequência padrão de cada corda foi alterada, e o seu novo valor pode ser calculado através da Eq. (2). (ARAKAWA, [4]).

$$n = \frac{1200}{\log_{10} 2} \log_{10} \frac{A}{B} \quad (1)$$

$$f_{\text{corda}} = 2^{\frac{n}{1200}} \cdot f_{\text{padrão}} \quad (2)$$

Por fim, a partir do valor da frequência de uma das cordas do instrumento, é possível determinar as outras três. Isso acontece porque há um intervalo de quarta justa entre cada uma das notas, o que corresponde a uma razão matemática de 1:1335.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Captação do sinal

Para realizar a captação das ondas sonoras geradas pelo contrabaixo acústico, foi utilizado um sensor piezoelétrico, que é um transdutor passivo que produz um sinal elétrico de saída quando submetido a uma deformação mecânica. Esse sensor é posicionado no lugar mais adequado a captação do sinal sonoro, o cavalete do instrumento. Apesar disso, como o sinal obtido possui uma amplitude baixa, existe a necessidade adequá-lo para que possa ser processado no microcontrolador.

Por isso, uma série de circuitos compõem o bloco responsável por condicionar o sinal oriundo do sensor e adequá-lo para que possa ser processado. Primeiramente foi inserido um pré-amplificador, utilizando-se do amplificador operacional LM358, de configuração não inversora e ganho variável, cuja função é dar ao sinal recebido do sensor amplitude suficiente para que possa ser interpretado no próximo estágio.

As frequências das quatro cordas do contrabaixo acústico são tão baixas, e o timbre do instrumento tão rico em harmônicos que na maioria das vezes o segundo harmônico se sobressai em relação à frequência fundamental de cada corda. Assim, é extremamente necessário que no próximo estágio haja um circuito de filtro que consiga eliminar ou ao menos atenuar esse sinal indesejado. É o que o circuito integrado (CI) LTC 1062 pode promover. Ele funciona como um filtro passa baixas de 5ª ordem e tipo *Butterworth*, e sua frequência de corte é determinada por um

circuito RC externo, além de um sinal de *clock* de frequência 100 vezes maior que a frequência de corte desejada. Com sua utilização, o tamanho do circuito pode ser otimizado, além do fato que é possível chavear o sinal em sua entrada para trabalhar com frequências diferentes, no caso do projeto, com as frequências de cada uma das quatro cordas. Isso é possível através da utilização de um multiplexador analógico, no caso o CI 74HC4052.

Depois do sinal ser pré-amplificado e filtrado, o mesmo deve ter sua amplitude saturada, gerando assim um sinal digital de mesma frequência, e amplitude adequada a porta do microcontrolador. Portanto, como último circuito do bloco é utilizado um comparador com histerese, que também faz uso do amplificador operacional LM358, cuja saída é retificada e adequada aos níveis tensão desejados.

Era essencial que o dispositivo apresentado nesse trabalho fosse portátil, por isso, sua alimentação foi provida através de uma bateria de íons de lítio de saída 5V/2A. Contudo, o bloco condicionador do sinal não funciona satisfatoriamente com alimentação unipolar. Assim, foi necessária a utilização do CI MC34163, um conversor DC-DC que pode ser utilizado na configuração de inversor de tensão, produzindo em sua saída o potencial -5V a partir de uma entrada de 5V.

#### 3.2 Microcontrolador e interface

O microcontrolador escolhido foi o TM4C123 presente na EK-TM4C123GXL *LaunchPad*. Ele possui um processador ARM® Cortex M4 de 32 bits e 80 MHz, 256 kB de memória *Flash*, 32 kB de memória RAM e 2 kB de memória EEPROM, além de dois conversores A/D de 12 bits, doze temporizadores de 16/32 ou 32/64 bits, módulo PWM, Captura, e comunicações seriais UART, SPI e I2C.

Este dispositivo é responsável por receber o sinal oriundo do bloco condicionador, e através do seu módulo de

captura identifica qual é a frequência desse sinal. Então, conhecendo o padrão de afinação estabelecido pelo usuário, é possível determinar a frequência padrão de cada uma das cordas através de cálculos que se utilizam das Eq(1) e Eq(2). De posse desses dois valores é possível determinar se a corda está afinada ou não, e caso não esteja é necessário acionar o bloco de atuação descrito na próxima subseção.

Para que o usuário possa inserir o padrão desejado, como também acompanhar a realização do processo de afinação é necessário que haja uma interface no dispositivo. Para este fim, foi utilizado o módulo BOOSTXL-K350VG-S1 Kentec QVGA Display BoosterPack, um *display LCD touch screen* resistivo que já é adaptado para o uso em *LaunchPads*. Ele possui resolução de 320 x 240 pixels, tecnologia Transistor de Película Fina (65k TFT) onde até 65535 cores podem ser exibidas e interface SPI. Esse display pode ser visto na Fig. 2, onde já se encontra inserido na *LaunchPad*.



Figura 2. Kentec *Display* na *LaunchPad*

### 3.3 Atuação no instrumento

Devido à logística de posicionamento, peso e custo, optou-se por utilizar apenas um motor para atuar nas tarraxas do instrumento. O motor utilizado é um motor DC com caixa de redução, de torque

nominal superior a 0,5 Nm, o valor necessário para que ele consiga tracionar as cordas. O CI L298N é o drive desse motor, e por ser uma ponte H, possibilita o controle de velocidade e a inversão de rotação através do microcontrolador. A estrutura mecânica que fará o acoplamento entre o eixo do motor e as tarraxas está sendo projetada.

## 4. REFERÊNCIAS

- [1] C. Hoffer, *Music Listening Today*, 3<sup>a</sup> ed., Flórida: Cengage Advantage Books, 2009.
- [2] L. O. Cunha, “A captação do som do violino: aspectos acústicos e estéticos,” Artigo de Mestrado em Performance Musical (Escola de Música), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- [3] M. Zevin, “Resonance and Harmonic Analysis of Double Bass and Bass Guitar”. Disponível em <[https://courses.physics.illinois.edu/p406/student\\_projects/spring12/michael\\_zevin\\_p406\\_project\\_report\\_sp12.pdf](https://courses.physics.illinois.edu/p406/student_projects/spring12/michael_zevin_p406_project_report_sp12.pdf)>. Acesso dia 08/05/2017.
- [4] H. Arakawa, “Estudo científico de escalas e temperamentos com cento e comas”. Disponível em <<http://docplayer.com.br/39500657-Estudo-cientifico-de-escalas-e-temperamentos-com-cento-e-comas.html>>. Acesso dia 16/05/2017.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na fase de implementação prática do projeto, os circuitos de condicionamento do sinal sonoro, a programação da interface *touch screen* e o controle do motor que atuará no instrumento apresentam um bom resultado. Os próximos desafios estão relacionados com o projeto da estrutura mecânica de acoplamento do sistema.