

## Relatório Técnico

# Harmony - Piano eletrônico para fins didáticos

Andréia S. Koda – deia.skoda@gmail.com  
Damaris M. Ferreira – damaris.menfer@gmail.com  
Júlio V. Bernardi – julio.v.bernardi@hotmail.com  
Mateus O. Santos – mateuss@alunos.utfpr.edu.br  
Yasmin G. Pegoraro – yasmingomesp@gmail.com

Junho de 2017

### Resumo

Tantas são as vantagens quanto desvantagens de um piano, pois se por um lado é considerado um dos instrumentos mais completo, por outro possui alta complexidade envolvida para seu aprendizado. Tendo isso em mente, o presente relatório apresenta o Harmony, um piano eletrônico compacto cuja interface com o usuário é feita através de um aplicativo para Android, comunicando-se via Bluetooth. Este projeto apresenta três modos: modo livre, gravação e aprendizagem, todos interfaceados com *push buttons* e *LED's (Light Emitting Diode – Diodo Emissor de Luz)* presentes em cada tecla. O primeiro fornece a funcionalidade de um piano comum, cujo som tocado pode ser alterado para o de outros instrumentos. O segundo permite que o usuário grave o que está tocando. Por fim, no modo aprendizagem o usuário poderá aprender a tocar piano através de uma interface simples e didática. Esse relatório conclui que o protótipo desenvolvido facilita o aprendizado deste instrumento, fornecendo interfaces simples e funcionamento intuitivo ao usuário.

## 1 Introdução

O piano é um instrumento musical de corda percutida inventado no início do século XVIII por Bartolomeo Cristofori (1655-1732). Na época conhecido como “pianoforte”, foi utilizado por importantes músicos clássicos como Bach, Mozart e Beethoven, sendo composto por 88 teclas quando completo [7]. Tantas são as vantagens desse instrumento, bem como suas variações – teclado eletrônico, cravo, órgão etc. – que torna-o extremamente popular entre músicos. Entretanto, é também amplamente conhecida a dificuldade de aprendizado do piano, uma vez que este instrumento requer uma coordenação parcialmente independente entre as mãos, já que comumente uma delas toca a melodia e a outra o ritmo da música.

Neste projeto, batizado de Harmony, apresenta-se o desenvolvimento de um piano eletrônico de 60 teclas (5 oitavas), que replica um teclado eletrônico, apresentando funcionalidades que por vezes não são encontradas nesses instrumentos, cujo principal objetivo é facilitar o aprendizado do piano para usuários de níveis básicos. O projeto pode ser subdividido em quatro partes: um sistema base, um sistema embarcado, uma comunicação sem fio e uma estrutura externa, conforme ilustrado na Figura 1.

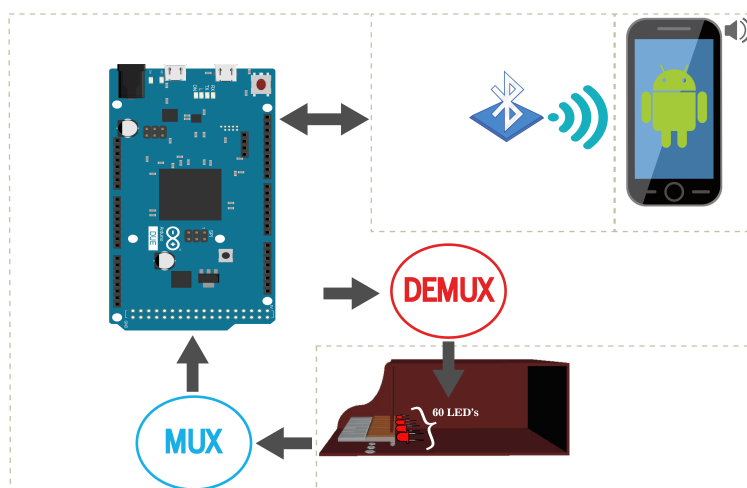


Figura 1: Visão geral do projeto

A estrutura externa é responsável por fornecer ao projeto as características físicas de um piano convencional, bem como facilitar o transporte sem danificar os componentes internos. Ela constitui de teclas para a interação com o usuário e uma estrutura que contém os componentes internos do projeto. Esta estrutura é integrada ao sistema embarcado, que consiste no processamento de dados no piano, realizado através do microcontrolador Arduino Mega. Este irá receber informações dos *push buttons* posicionados embaixo das teclas e enviar informações aos *LED's* (*Light Emitting Diode* – Diodo Emissor de Luz) de indicação da tecla, posicionados embaixo de cada uma dessas. Desta forma, a cada vez que uma tecla é pressionada, o *LED* correspondente a ilumina, fornecendo uma visão mais ampla do instrumento musical.

Através de uma comunicação sem fio via Bluetooth, o sistema embarcado comunica-se com a estação base, enviando e recebendo informações. Essa conexão é importante pois o som de cada tecla é reproduzido em um aplicativo para sistema Android. O piano eletrônico (Harmony) é capaz de reproduzir o som de outros instrumentos musicais, além do próprio piano, sendo eles acordeon, violino, guitarra, sax e xilofone. O controle da seleção de instrumento é realizado pelo aplicativo.

O aplicativo também tem a capacidade de controlar o modo de operação do piano: modo livre, modo gravação e modo aprendizagem. O modo livre funci-

ona como um teclado simples que reproduz uma sequência de sons definidos pelo usuário. O modo gravação possibilita o usuário gravar suas composições. Por último o modo aprendizagem permite que uma pessoa possa aprender a tocar músicas pré-programadas no piano. Basicamente, no aplicativo, uma música é selecionada, seguida pela seleção de dificuldade de aprendizado (fácil, médio ou difícil) e pela opção de treino das mãos (direita, esquerda ou ambas). Neste último modo, os *LED's* irão iluminar as teclas que deverão ser tocadas, aguardando que o usuário as toque. O modo aprendizado possui duas formas de funcionamento: sem ritmo e com ritmo. No modo sem ritmo, mesmo que o usuário cometa erro, o sistema aguarda que as teclas corretas sejam tocadas. Já no modo com ritmo o sistema aguarda um tempo definido, correspondente ao tempo de execução da nota na música original, e caso o tempo passe sem que o usuário toque nenhuma tecla ou toque uma nota errada o sistema sinaliza o erro através de cores diferentes de *LED*, prosseguindo com a reprodução da música. Essa funcionalidade é a mais importante do projeto, pois nela se resume a capacidade do produto de ensinar ao usuário a tocar.

Para execução do projeto foram estabelecidos requisitos, funcionais e não funcionais, que devem ser seguidos.

Os requisitos funcionais são aqueles que descrevem o comportamento do sistema, ou seja, suas ações para cada entrada. Esses estão listados a seguir:

- O piano deve ser capaz de se conectar com o aplicativo;
- O aplicativo deve reproduzir o som correspondente à tecla pressionada corretamente;
- O *LED* da tecla deve ser aceso quando esta é pressionada no modo livre e no modo gravação;
- O aplicativo deve ser capaz de gravar o áudio referente às notas tocadas pelo usuário no modo gravação;
- No modo aprendizagem, o *LED* referente à próxima nota da música deve acender;
- O aplicativo deve reproduzir o áudio gravado no modo gravação;
- O aplicativo deve permitir a escolha entre pelo menos 5 instrumentos diferentes para gerar as notas musicais;
- A tecla deve ser facilmente pressionável;
- O usuário deve poder conseguir trocar de modo a qualquer momento;
- O usuário deve poder sair do aplicativo a qualquer momento.

Os requisitos não funcionais são aqueles nos quais é descrito como o projeto deve ser feito, ou seja, são relacionados com padrões de qualidade, como confiabilidade, performance e robustez, bem como com restrições e especificações de uso, definindo se o sistema será eficiente para a tarefa ou não. Esses são listados a seguir:

- O aplicativo será desenvolvido em Java para o sistema operacional Android;
- As teclas devem possuir boa iluminação quando aceso o LED correspondente;
- O piano deve ter menos que 7 kg;
- O piano deve ter menos que 1 m de largura, 20 cm de altura e 50 cm de comprimento;
- O meio de comunicação entre os dispositivos será Bluetooth;
- Teclas devem ser rígidas o suficiente para evitar rupturas quando pressionadas;
- Estrutura externa deve ser rígida o suficiente para proteger os componentes internos.

## 2 Dispositivos utilizados

Nesta seção serão abordados o sistema embarcado e a comunicação entre os dispositivos.

### 2.1 Sistema embarcado

O sistema embarcado utilizado é o microcontrolador ATmega2560. Nele é possível programar um conjunto de instruções para que seja realizado o projeto, sendo programado na linguagem de programação do Arduino através do ambiente integrado de desenvolvimento (IDE - *Integrated Development Environment*). A versão do Arduino usada neste projeto, Arduino Mega, opera em tensão de 5V, possui 54 portas digitais, sendo que 15 podem ser usadas como PWM (*Pulse Wide Modulation*, Modulação por Largura de Pulsos), 16 portas analógicas, memória flash de 254KB, dos quais 8Kb são utilizados no bootloa-der, SRAM de 8Kb, EEPROM de 4Kb e com velocidade de clock de 16MHz.

Os principais motivos da escolha desse microcontrolador foram a facilidade do grupo em usá-lo, devido a experiência de projetos anteriores. Também foi motivo de escolha o fato de que a manuseio da conexão bluetooth é mais estável utilizando esse microcontrolador. A linguagem de programação do Arduino

é baseada na linguagem C, que é uma linguagem de conhecimento dos membros do grupo, o que incentivou ainda mais a escolha desse microcontrolador. A Figura 2 mostra o Arduino utilizado no projeto.

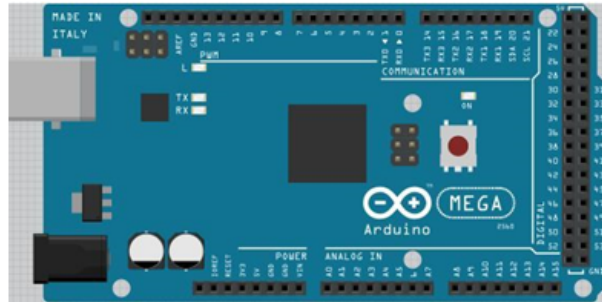


Figura 2: Microcontrolador Arduino Mega [10].

## 2.2 Comunicação

A comunicação entre o aplicativo Android e o Arduino escolhido foi o *bluetooth*, pois possui um modo eficiente de transferência de dados sem fio e por ser uma tecnologia compatível com a maioria dos *smartphones*. Como o Arduino não possui *bluetooth* integrado, foi utilizado o módulo HC-05 para que estabelecer a comunicação entre o aplicativo android e o sistema embarcado. Esse módulo opera na tensão de 1,8V a 3,6V e possui um modo de funcionamento simples, pois abre uma porta serial entre os dispositivos por onde são enviados e recebidos dados (funcionamento em modo *loopback*). A Figura 3 apresenta o módulo HC-05.

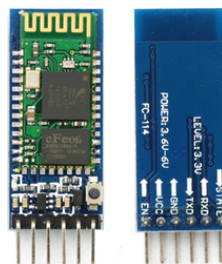


Figura 3: Módulo HC-05 utilizado para a comunicação bluetooth [6].

### 2.2.1 Protocolo de Comunicação

A partir da conexão estabelecida entre o Arduino e o aplicativo, a equipe estabeleceu um protocolo de comunicação entre estes dois dispositivos. Seu funcionamento tem como base códigos transmitidos bilateralmente em forma de *strings*. Do lado do sistema embarcado, durante todo o tempo de execução do programa, são enviados ao aplicativo códigos que identificam as teclas do piano assim que são pressionadas, de modo que a estação base decodifica a mensagem e reproduz o som correspondente. Durante a execução do modo aprendizagem, o aplicativo é responsável por enviar códigos referentes às teclas que devem ser tocadas em cada momento da música. O Arduino interpreta esses códigos, acendendo os *LEDs* azuis das notas que devem ser tocadas. Para dar sequência à música, o embarcado envia uma mensagem solicitando as próximas notas ao aplicativo assim que o usuário acerta as teclas, no modo sem ritmo, ou quando se esgota o tempo da nota na música, no modo com ritmo. O celular envia as próximas notas assim que decodifica esta mensagem. Também foi implementado um código enviado pelo aplicativo que, quando recebido pelo Arduino, faz com que a execução retorne ao modo livre. Esse comando é dado quando o usuário pressiona o botão parar do modo aprendizagem.

## 3 Desenvolvimento

Nesta seção será explicado como foram desenvolvidos a estrutura física, a estação base e os sistemas eletrônicos do projeto.

### 3.1 Estrutura física

A estrutura física consistiu em três partes: a fabricação das teclas, a fabricação da estrutura externa e a integração entre ambas.

Para a fabricação das teclas foram utilizadas borracha de silicone e resina cristal [5]. Esses materiais foram comprados na forma líquida, endurecendo algumas horas após serem misturados com um catalisador. A borracha foi utilizada nos moldes para fabricação das teclas em resina, conforme mostra a Figura 4.

Para tornar as teclas mais rígidas e impedir rupturas, foi colado papel paraná na parte inferior das teclas pretas e EVA (*Ethylene-vinyl acetate* – espuma vinílica acetinada) na parte inferior das teclas brancas. Dessa forma também foi ajustada a altura das teclas pretas, o que facilitou a montagem das teclas na estrutura externa, como mostrado na Figura 5.

Para montagem das teclas na estrutura externa foi utilizado um eixo metálico de 3mm de diâmetro, fixado na estrutura externa, e pedaços de tubos finos de 4mm de diâmetro interno, fixados em cada tecla, conforme pode ser visto na Figura 5.



Figura 4: Teclas de resina em fabricação



Figura 5: Teclas prontas montadas na estrutura externa

As paredes da estrutura externa foram feitas utilizando quatro camadas de papel Paraná coladas, fornecendo maior rigidez ao material, cortadas e encaixadas de modo que se assemelhasse a um teclado comercial. O tamanho da estrutura foi projetado de modo que comportasse os sistemas eletrônicos, possuindo 79cm de largura, 12cm de altura e 20,5cm de profundidade.

O sistema embarcado foi, por fim, fixado na estrutura externa. Uma tampa de mesmo material da estrutura externa foi confeccionada para proteção. O produto final é ilustrado na Figura 6.

### 3.2 Estação base

A estação base do projeto Harmony é constituída por um aplicativo para celulares com sistema operacional Android. Este aplicativo possui três modos de operação: modo livre, modo gravação e modo aprendizagem, além da possibilidade de escolha entre o som de 5 instrumentos diferentes.

O aplicativo inicializa no modo livre, definido como *default*. Neste modo inicial apenas são produzidos os sons das notas referentes às teclas pressionadas pelo usuário na estrutura física, como descrito no fluxograma da Figura 8.



Figura 6: Piano finalizado

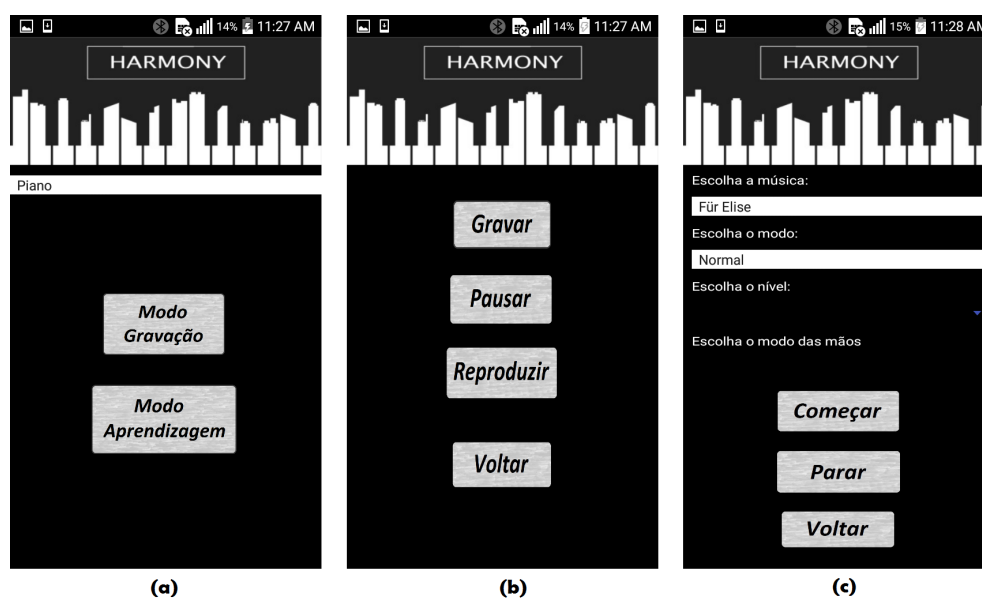


Figura 7: Telas do aplicativo, da esquerda para a direita: modo livre, modo gravação e modo aprendizagem

A tela inicial permite acesso aos outros dois modos disponíveis no aplicativo: modo aprendizagem e modo gravação, além de um *Drop-down list* que permite a escolha do instrumento. O protótipo da tela inicial pode ser visto na Figura 7.

O Modo Gravação funciona como o Modo Livre, porém permitindo ao usuário gravar e salvar a música tocada. Também é disponível a opção de reprodução dos arquivos referentes aos áudios que foram salvos.

Estas opções estão disponíveis através de *buttons*, como mostra a captura de tela tirada do aplicativo presente na Figura 7. Ainda, o fluxograma da Figura



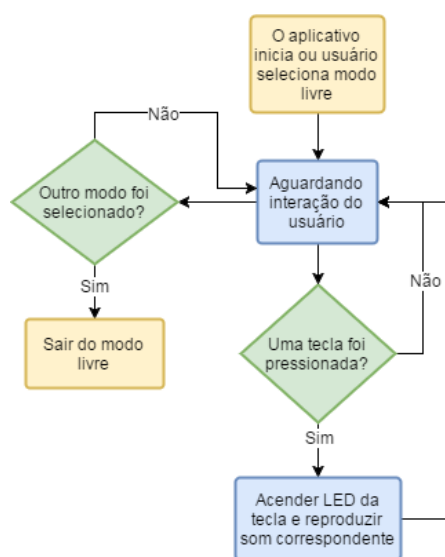


Figura 8: Fluxograma - modo livre

9 mostra as etapas dos modos gravação/reprodução. É importante ressaltar que o usuário pode sair deste modo a qualquer momento. Isto foi ocultado para não poluir visualmente o fluxograma.

Ao selecionar o modo aprendizagem, é fornecida uma lista de músicas pré programadas no aplicativo. O usuário deve selecionar a que deseja aprender a tocar e seu nível de dificuldade. O sistema de aprendizado é dividido em duas opções: aprendizado normal e com ritmo, ambos descritos no fluxograma da Figura 10. O aprendizado foi dividido também entre mão esquerda e mão direita, além da opção de tocar com ambas, executando a música completa. A captura de tela presente na Figura 7 mostra a disposição dos comandos de configuração do modo aprendizagem no aplicativo.

O aprendizado normal é constituído por comandos que acenderão os *LED's* azuis referentes às teclas que devem ser pressionadas. Caso a tecla pressionada seja incorreta, o sistema não reproduz o som e acenderá um *LED* vermelho nas teclas pressionadas erroneamente, mantendo o *LED* azul da tecla correta aceso até que o usuário a pressione. Ao final da música, é gerado um score baseado na quantidade de erros durante sua execução. Durante todas as etapas é permitido ao usuário retornar ao modo livre, interrompendo o modo aprendizagem.

O aprendizado com ritmo consiste de comandos que acenderão os *LED's* azuis referentes às próximas teclas que devem ser pressionadas, de forma sequencial à música escolhida. Caso a tecla pressionada seja incorreta, o sistema não reproduz o som e acende um *LED* vermelho nas teclas pressionadas erroneamente, seguindo para as próximas notas a serem tocadas. Caso a tecla pressionada seja correta, mas no tempo errado, é aceso um *LED* roxo na tecla pressionada. As teclas que devem ser tocadas permanecem acesas apenas por um

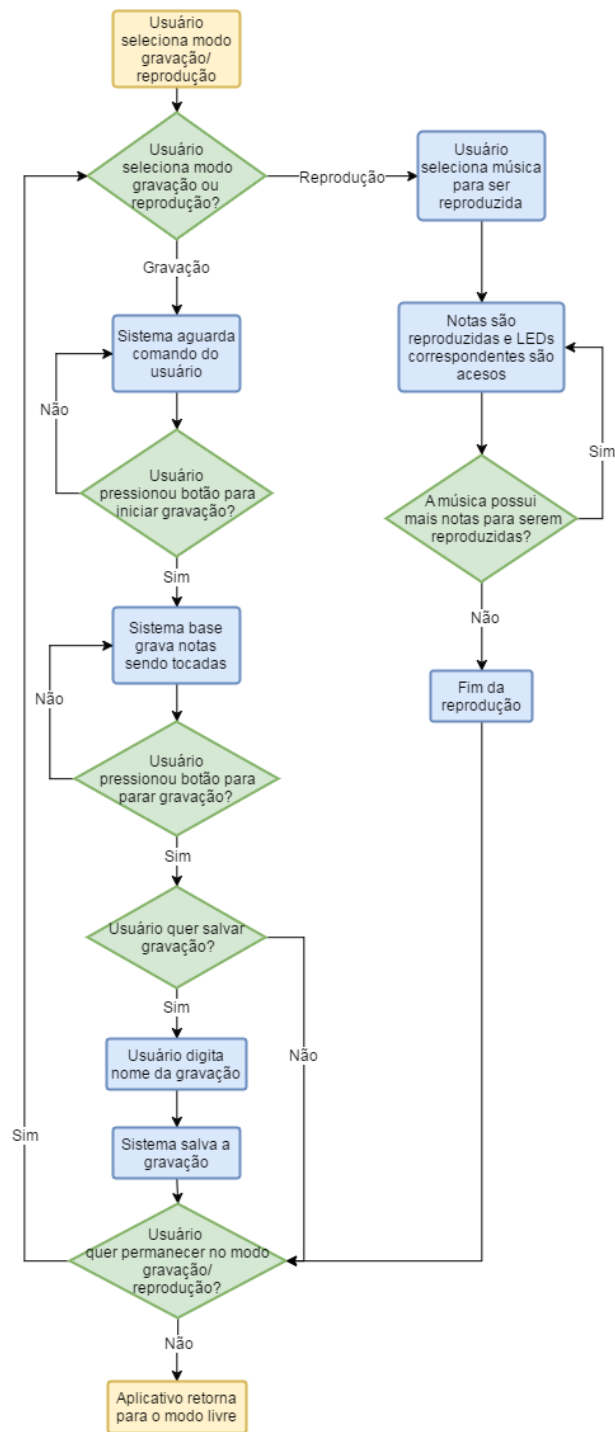


Figura 9: Fluxograma - Modo Gravação.

determinado tempo, condizente com a música escolhida, até que sigam para a próxima na sequência.

Ao final da música, é gerado um score baseado na quantidade de erros durante sua execução. Assim como no modo sem ritmo, neste caso também, durante todas as etapas, é permitido ao usuário retornar ao modo livre, interrompendo o modo aprendizagem.

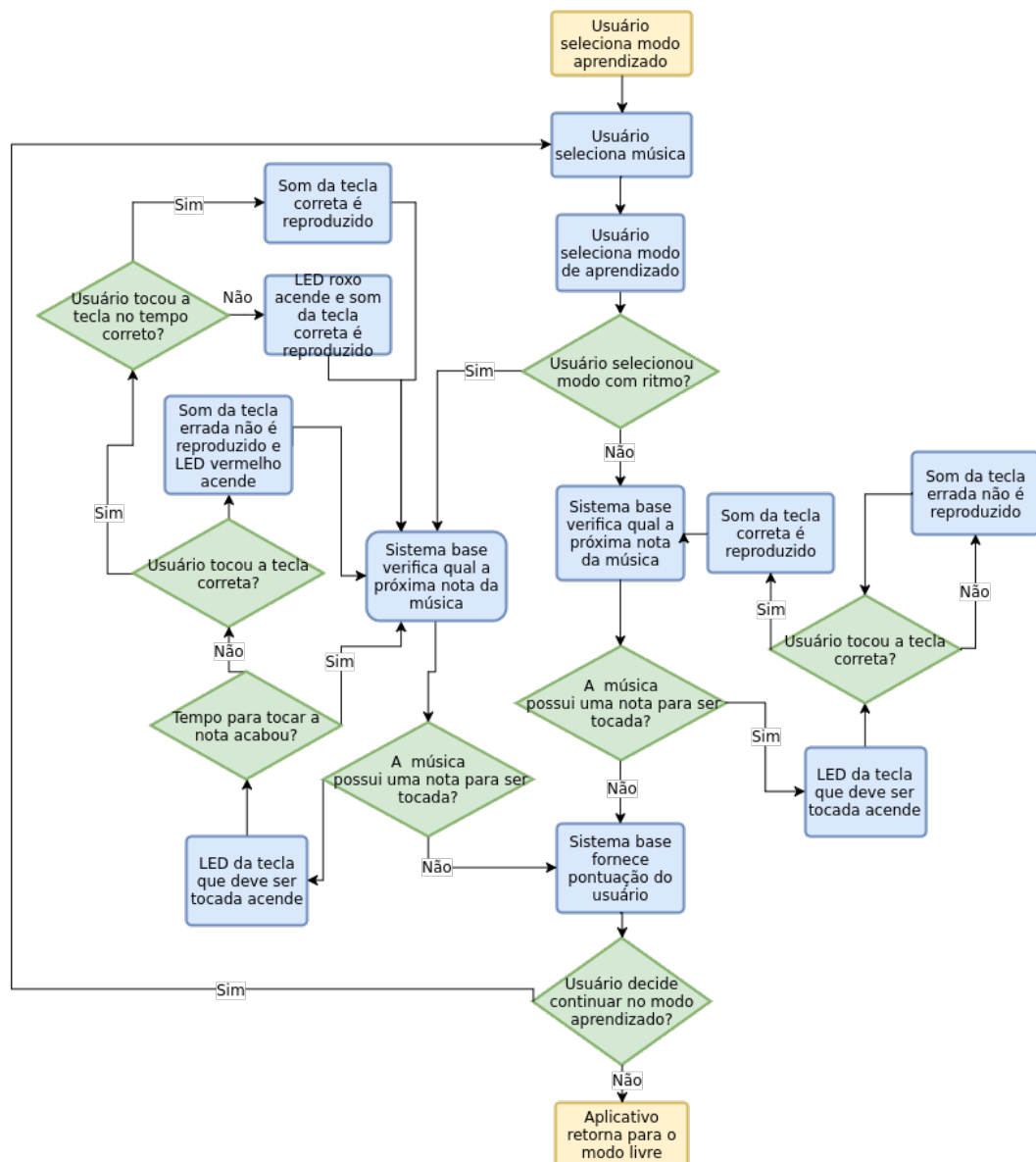


Figura 10: Fluxograma - Modo Aprendizagem.

### 3.3 Eletrônica

A estrutura eletrônica do projeto pode ser compreendida em duas partes. A primeira é composta pelos botões responsáveis por gerarem sinais interpretados pelo Arduino, indicando qual tecla o usuário pressionou. Esses, acionam comandos que são transmitidos ao aplicativo para geração do som das notas. Já a segunda parte do projeto é composta pelos *LED's RGB* (*Red, Green, Blue* – vermelho, verde, azul) que são utilizados para iluminação das teclas. Eles recebem comandos enviados pelo Arduino, indicando a cor que deve ser acendida em cada instante.

Para a aquisição do sinal das teclas, optou-se pela utilização das chaves mecânicas, que compõe um dos modos mais simples de aquisição de informações digitais. Devido à sua robustez e custo são amplamente utilizadas em interfaces com o usuário. O *push button* [3] é um exemplo desse tipo de chave, que ao ser pressionada fecha contato entre seus terminais, o que pode ser utilizado para aquisição de sinais. Por se tratar de um botão que funciona por pressão, é ideal para imitar o funcionamento das teclas de um piano. O *push button* utilizado mostrado na Figura 11 possui uma estrutura emborrachada que proporciona uma maior similaridade com a sensação de toque de um instrumento convencional.



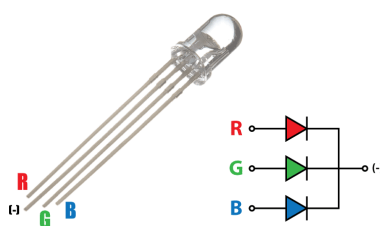
Figura 11: *Push Button* emborrachado.

Já para a iluminação das teclas foi utilizado o *LED RGB* [2] que consiste em três *LED's* encapsulados em um mesmo dispositivo, como pode ser visto na Figura 12. Cada *LED* (R, G ou B) pode ser controlado individualmente com uma cor distinta: um vermelho, um verde e um azul. É possível ativar as cores individualmente, fazendo com que o *LED* acenda em uma das três cores disponíveis, ou ainda combinar as cores dos *LED's* individuais para que sejam produzidas cores diferentes. Como internamente os três *LED's* se localizam muito próximos, o olho humano não é capaz de distinguí-los, enxergando apenas a mistura de cores final.

Por se tratar de 5 oitavas, cada oitava contendo 12 teclas, tem-se um total de 60 *LED's RGB*. São usadas apenas duas cores do *LED* para reduzir o número de portas do Arduino necessárias para gerenciamento dos dispositivos externos.

Para realizar a leitura de uma tecla ou o acionamento de um *LED RGB* é necessário utilizar um terminal do microcontrolador. Porém, o piano possui 60 teclas e o microcontrolador não possui tantos terminais disponíveis para essas.

Este tipo de problema foi resolvido através da multiplexação das teclas. Isto aumenta a quantidade de sinais lidos por uma menor quantidade de terminais

Figura 12: Encapsulamento do *LED RGB*

do microcontrolador. Esta economia de hardware, aumenta a complexidade do software e também o seu tempo de processamento. Porém, é a forma mais viável para a leitura de várias teclas utilizando poucas portas.

No caso dos *LED's*, utilizou-se a técnica inversa, a demultiplexação. No caso, foi utilizado um terminal do microcontrolador para gerenciar 5 *LED's RGB* que se encontram em oitavas diferentes.

O esquemático do circuito montado para demultiplexação e multiplexação, de forma reduzida, é mostrado na figura 13. O circuito é dividido em um para o teclado (circuito superior) e outro para os *LED's* (circuito inferior) de forma separada. Foram usados *Schmitt Trigger's* (74HC14) [12] e um *Darlington Array* (ULN2804) [4] para garantir a tensão correta para os componentes. Já para efetuar a varredura, utilizamos um contador de década (74HC4017) [1].

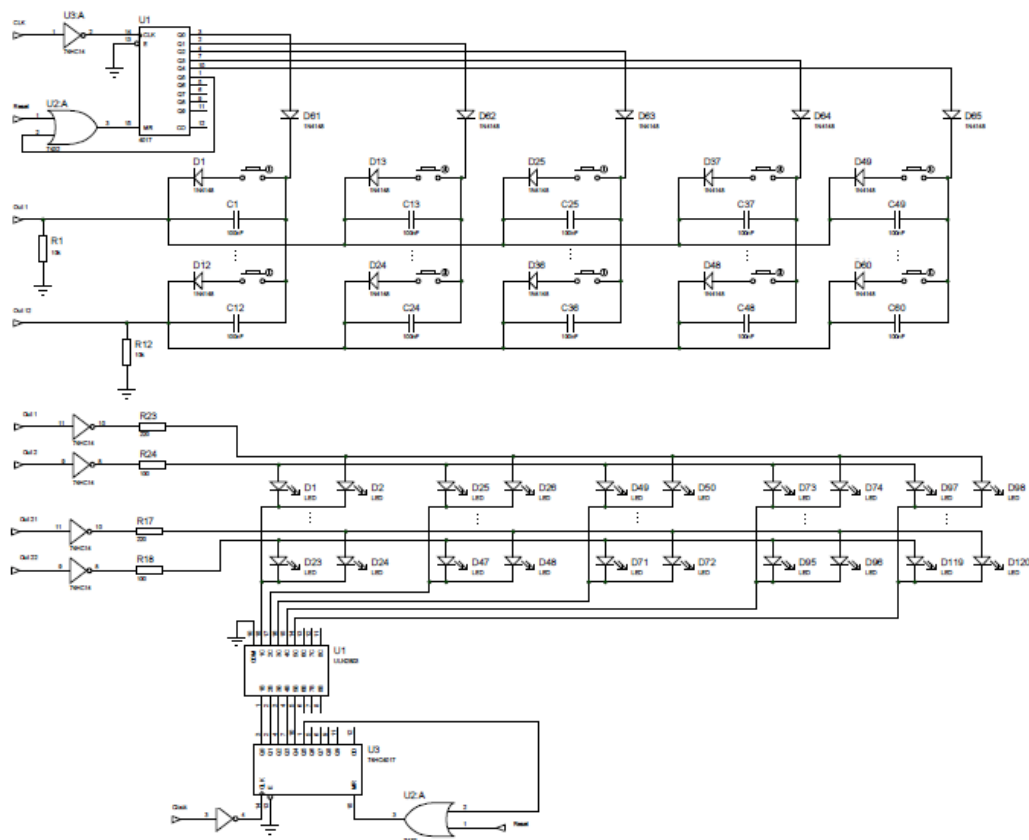


Figura 13: Esquemático do circuito eletrônico.

As placas foram divididas em 4 *layouts* que podem ser vistos na Figura 14, sendo dois deles para as teclas e os outros dois para os *LED's*. Os *layouts* foram confeccionados no *software* Proteus [11] e foram utilizados como orientação para o local dos componentes e suas respectivas conexões.

A placa das teclas mostrada na Figura 14-c foi planejada para posicionar os botões com as distâncias corretas entre as teclas físicas. Foram colocados diodos em série com os *push buttons* para eliminar o efeito *ghosting* [9] e capacitores em paralelo para eliminar problemas de *bouncing* [8].

Já para os *LED's*, foi desenvolvido outro *layout* próprio separado dos *push buttons*. Devido a limitações do *software* Proteus, os *LED's* são representados pela barra de 3 pinos na Figura 14-a. O primeiro pino representa o *LED* de cor azul, o segundo é o pino comum e o terceiro pino representa o *LED* de cor vermelha. Essa placa comporta 12 *LED's* *RGB*, que é o total necessário para uma oitava.

Tanto a placa de teclas como a placa de *LED's* foram planejadas de forma genérica para uma oitava e por isso, o projeto possui 5 placas de cada um dos *layouts*.

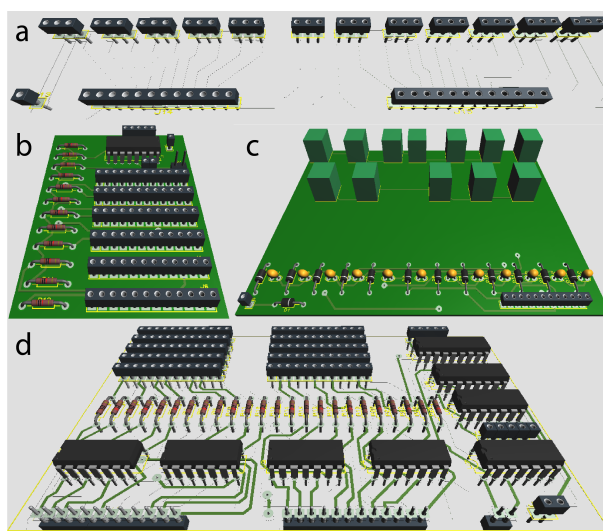


Figura 14: Modelo 3D de todas as placas utilizadas.

Como são 5 placas de teclas, foi montado uma estrutura que centraliza todas as oitavas. Essa estrutura é mostrada na Figura 14-b e é responsável por receber todos os sinais de todas as teclas e conectar todas elas ao Arduino.

As 5 placas de *LED's* são redirecionadas para a placa de gerência dos *LED's* que é responsável por centralizar todos os sinais dos 60 *LED's* do projeto. Além disso, essa placa é um pouco maior que as demais pois possui outros dispositivos utilizados na gerência de todas as placas de *LED's* e de botões, além da placa contendo o HC-05. Essa estrutura é mostrada na Figura 14-d.

## 4 Resultados

Nesta seção o projeto será avaliado de acordo com seus resultados obtidos através de testes realizados e sobre o custo final do projeto. Para visualização dos resultados em vídeo, acesse o link:

<https://www.youtube.com/watch?v=fACBsIanS7Q&t=1s>

### 4.1 Modo Livre

No modo livre, o piano apresentou bons resultados na reprodução do som correspondente às teclas apertadas, para todos os tipos de instrumento (piano, guitarra, acordeon, xilofone, violino). A qualidade do som utilizada no projeto mostrou-se igualmente boa. Foram feitos testes de garantia, pressionando teclas aleatórias em velocidade média/alta e o dispositivo apresentou uma resposta satisfatória tanto visualmente com os *LED's* como sonoramente, confirmando que o piano está de acordo com os requisitos deste modo.

## 4.2 Modo Gravação

Analogamente ao modo livre, o modo gravação foi colocado em um ambiente de teste para verificação de seu desempenho. É possível gravar uma música enquanto está reproduzindo e salvá-la no dispositivo móvel. O áudio obtido a partir desse modo possui volume e clareza com qualidade satisfatória, garantindo a funcionalidade desse modo.

## 4.3 Modo Aprendizagem Com e Sem Ritmo

Para teste do modo aprendizado, foi solicitado que um usuário fora do grupo tocasse o piano. No modo sem ritmo o *LED* da sua respectiva tecla acende quando deve ser tocada e caso seja a errada, acende outra cor indicando o erro do *LED* da tecla que causou o erro, assim como especificado. No modo com ritmo, o acendimento dos *LED's* de cores correspondentes a erros/acertos, agora incluindo erros em relação ao ritmo da música, também se mostrou boa. No geral, os testes realizados indicam que os requisitos deste modo de funcionamento foram cumpridos.

## 4.4 Custos

O custo do projeto está descrito na Tabela 1. Em uma fabricação comercial, provavelmente os custos poderiam ser reduzidos, pois problemas técnicos enfrentados pela equipe não seriam repetidos, economizando alguns componentes.



Tabela 1: Gastos do projeto.

Item	Quantidade	Preço
Resina poliéster cristal	1kg	R\$36,80
Arduino Mega	1 unidade	R\$94,00
Borracha de silicone	1kg	R\$40,40
<i>Push button</i>	60 unidades	R\$54,00
Massa de modelar	60g	R\$3,30
Papelão Paraná	30m <sup>2</sup>	R\$30,50
Placa virgem	1 unidade	R\$10,00
Resistor	80 unidades	r\$4,00
Contador de década (74HC4017)	2 unidades	R\$2,00
Chave eletrônica	1 unidade	R\$1,50
Barra de pinos	10 unidades	R\$9,60
Diodo (1N4007)	50 unidades	R\$5,00
<i>Schmitt Trigger</i> (74HC14)	4 unidades	R\$2,00
<i>Darlington array</i> (UJLN2803)	2 unidades	R\$3,20
Tinta PVA	40g	R\$19,60
Folha circuito impresso	1	R\$0,50
LED RGB	60 unidades	R\$90,00
Cabos	250 unidades	R\$113,40
Placas fabricadas (Prof. Castaldo)	7 unidades	R\$350,00
Verniz	20g	R\$8,50
Total		R\$877,90

## 5 Considerações finais

O projeto Harmony resultou em um piano totalmente funcional, capaz de ensinar músicas a pessoas que não possuem conhecimento musical. Todos os requisitos funcionais e não-funcionais foram atendidos tanto na estrutura física quanto no *software* e *hardware* desenvolvidos.

A estação base consiste em um aplicativo de fácil utilização, que ao ser ligado conecta-se automaticamente ao piano. Todas as teclas apertadas pelo músico são identificadas com precisão e os sons são reproduzidos no aplicativo sem latência. No modo gravação, é possível gravar as músicas tocadas para reprodução posterior com fidelidade ao som original. Já no modo aprendizagem, é possível aprender de forma fácil sem a necessidade de qualquer conhecimento de teoria musical, basta seguir as teclas indicadas pelo piano. Além disso, o usuário pode usufruir de um aprendizado mais didático escolhendo entre as opções de dificuldade (fácil, médio, difícil), de mãos (direita, esquerda ou ambas) e ainda aprendizado com ritmo ou sem ritmo, facilitando a evolução do aprendizado.

Como trabalhos futuros, algumas melhorias podem ser implementadas, como a melhoria na iluminação das teclas, utilização de bibliotecas musicais para aumentar o número de músicas disponíveis e a inserção de molas embaixo das teclas melhorando o acoplamento destas com a estrutura física.

## Agradecimentos

A equipe agradece o auxílio do professor Fernando Cardoso Castaldo e do mestrando Diego Dias dos Reis que foram responsáveis pela fabricação de boa parte das placas de circuito impresso do projeto. Também agradecemos ao professor João Alberto Fabro que nos emprestou o microcontrolador Arduino Mega, o qual foi essencial para o desenvolvimento do projeto. Ao engenheiro de computação Thiago Saraiva por auxiliar no projeto e construção das telas do aplicativo. Aos designers Ranieri de Carvalho e Nikolas Oliveira por ajudar na produção do vídeo da equipe. Por fim, agradecemos ao aluno Gustavo Akira Gondo pelo empréstimo do *power bank* que alimentou todo o projeto.

## Referências

- [1] Contador de década - 4017. <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/645-conheca-o-4017-art062>. 02 de julho de 2017.
- [2] Curso de eletrônica – como funciona um led rgb. <http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/curso-de-eletronica-como-funciona-um-led-rgb/>. 26 de maio de 2017.
- [3] Curso de eletrônica – switches e pushbuttons. <http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/curso-de-eletronica-switches-e-pushbuttons/>. 26 de maio de 2017.
- [4] Darlington arrays. <http://www.st.com/en/interfaces-and-transceivers/darlington-arrays.html?querycriteria=productId=SC1025>. 02 de julho de 2017.
- [5] Harmony. <https://harmony124.wordpress.com/>, note = 14 de junho de 2017,.
- [6] Hc-05 bluetooth serial pass-through master-slave module. <http://artofcircuits.com/product/hc-05-bluetooth-serial-pass-through-master-slave-module>. 14 de junho de 2017.
- [7] A history of the piano, 1157-2015. [https://www.piano-tuners.org/history/history\\_1.html](https://www.piano-tuners.org/history/history_1.html), note = 21 de maio de 2017,.

- 
- [8] Leitura de chaves mecânicas e o processo de debounce. <https://www.embarcados.com.br/leitura-de-chaves-debounce/>, note = 24 de junho de 2017,.
- [9] Leitura de teclado matricial e multiplexação. <http://blog.vidadesilicio.com.br/arduino/leitura-de-teclado-matricial-e-multiplexacao/>. 24 de junho de 2017.
- [10] Make an arduino mega shield. <https://cdn.instructables.com/FSS/Q6FC/IONOI8UM/FSSQ6FCIONOI8UM.MEDIUM.jpg>. 14 de junho de 2017.
- [11] Proteus design suite 8.6. <https://www.labcenter.com/>. 05 de julho de 2017.
- [12] Schmitt trigger - 7414. <http://www.clubedaeletronica.com.br/digital/PDF/022-Schimit%20triger%20-%20Gerador%20de%20clock.pdf>. 02 de julho de 2017.