

UMA PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE ARTEFATO PARA SENTIR AS SETE NOTAS MUSICAIS POR MEIO DA VIBRAÇÃO MECÂNICA

SILVA, Saulo Pereira ¹

SANTOS, Renato Fernando dos ²

Resumo

Este artigo visa explorar o uso do Arduino, componentes eletrônicos, programação em C++ para trabalhar conceitos de hertz, período, frequência e notação musical. O objetivo é propor a construção de um protótipo que permita aos discentes compreender fisicamente as diferenças entre ondas senoidais e as sete notas musicais e dar acesso a música a pessoas com deficiências sensoriais. O Problema se baseia em como demonstrar o funcionamento, mecanicamente, das ondas sonoras. A metodologia adotada é a aprendizagem baseada em projetos, na qual se apresenta uma proposta de plano de aula para a construção do protótipo. Como principal resultado aplica-se a imagem do protótipo construído por meio do sistema web Tinkercad (2023).

Palavras-chave: *hertz. período. notação musical. robótica educacional.*

Abstract

This article aims to explore the use of Arduino, electronic components, programming in C++ to work with concepts of hertz, period, frequency and musical notation. The objective is to propose the construction of a prototype that allows students to physically understand the differences between sine waves and the seven musical notes and give access to music to people with sensory deficiencies. The Problem is based on how to demonstrate the operation, mechanically, of sound waves. The methodology adopted is project-based learning, in which a proposal for a lesson plan is presented for the construction of the prototype. As the main result, the image of the prototype built through the Tinkercad web system (2023) is applied.

Keywords: *hertz. period. musical notation. educational robotics.*

¹ Vínculo (aluno), Saulo Pereira da Silva, discente, saulopsg@hotmail.com.

² Vínculo (orientador), Renato Fernando dos Santos, professor, renato.santos@ifms.edu.br.

Resumen

Este artículo tiene como objetivo explorar el uso de Arduino, componentes electrónicos, programación en C++ para trabajar con conceptos de hercios, periodo, frecuencia y notación musical. El objetivo es proponer la construcción de un prototipo que permita a los estudiantes comprender físicamente las diferencias entre las ondas sinusoidales y las siete notas musicales y dar acceso a la música a personas con deficiencias sensoriales. El Problema se basa en cómo demostrar el funcionamiento, mecánicamente, de las ondas sonoras. La metodología adoptada es el aprendizaje basado en proyectos, en el que se presenta una propuesta de plan de lección para la construcción del prototipo. Como resultado principal se aplica la imagen del prototipo construido a través del sistema web Tinkercad (2023).

Palabras clave: *hercios. período. Notación musical. robótica educativa.*

Introdução

A música que é a arte dos sons, considerada por muitos como a sétima arte, traz em sua história conceitos subjetivos, onde cada pessoa tem um tipo de interpretação, por meio de seus sons e ritmos. Todo ouvinte observa desde criança a música, seja em sua residência, em locais públicos, escolas, entre outros. Para escrever uma música utiliza-se as notas musicais, e essa escrita denomina-se partitura musical.

A partitura musical é uma representação escrita de uma composição musical. Ela é composta por símbolos musicais e notações que indicam a altura, duração, ritmo e expressão das notas musicais. A partitura é uma forma de documentar a música de maneira precisa e possibilita que os músicos toquem uma peça musical sem depender apenas de sua memória. Para perceber a música utiliza-se o sentido da audição. Conforme Braida (2008) é pelo corpo que o homem participa do mundo e apreende uma realidade.

Quando um dos cinco sentidos - Visão, Audição, Tato, Paladar e Olfato - falha, outro tende a ser mais explorado. Por não ouvirem, as pessoas surdas, geralmente, têm os demais sentidos aumentados para recompensar, por exemplo, o tato. Conforme Stanfield (2013) o sentido do tato tem receptores sensoriais, que recebem o estímulo e o transformam em impulsos nervosos, que serão interpretados pelo sistema nervoso.

A justificativa para criação do protótipo em sala de aula é a interdisciplinaridade.

O público-alvo são os alunos do curso de Técnico em Eletrotécnica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul (IFMS) Campus Campo Grande -

MS, na Unidade Curricular Ferramentas Matemáticas Aplicadas à Eletricidade sob tema período e frequência.

A motivação para encontrar resposta para a questão da pesquisa que permeia a busca é que, após o autor, que é músico violinista e professor musical, ter contato com pessoas surdas de sua religião Congregação Cristã no Brasil, percebeu que essas pessoas olham para os instrumentos musicais com um brilho no olhar. Também tem um colega que é surdo, faz leitura labial e responde. O autor ainda percebeu que esse colega consegue sentir a vibração sonora mecanicamente na mesa e entender o que as pessoas estão falando. Dessa forma, existe uma pergunta que será aplicada a seguir:

A pergunta do problema é: **Como demonstrar o funcionamento, mecanicamente, das ondas sonoras?**

O objetivo geral é propor a construção de um protótipo robótico para os discentes entenderem as diferenças entre as frequências vibracionais da onda hertz e o funcionamento das sete notas musicais mecanicamente. Pois dará ao discente a possibilidade de entender como os hertz funcionam mecanicamente por meio das sete notas musicais.

Os objetivos específicos consistem em: 1) criar por meio do aplicativo web TinkerCad (2023), ou por meio de hardware físico, um protótipo para os discentes identificarem como os hertz se comportam mecanicamente para executar as sete notas musicais; 2) aplicar conceitos de linguagem de programação C++; 3) aplicar conceitos de robótica educacional;

As contribuições idealizadas desse trabalho são: 1) Mostrar aos alunos que cada nota musical emite uma onda sonora fisicamente; 2) Existe uma diferença entre uma nota musical e outra, e isso pode ser identificado por meio dos hertz que serão identificados na vibração que o motor irá fazer.

Fundamentação Teórica

A robótica é um ramo da tecnologia de engenharia dedicado à pesquisa, desenvolvimento e aplicação de robôs. Um robô é um dispositivo mecânico programável que pode ser controlado para executar tarefas de forma autônoma ou semiautônoma. A robótica combina conhecimentos de engenharia mecânica, elétrica e eletrônica com ciência da computação e inteligência artificial para criar sistemas robóticos capazes de realizar uma variedade de tarefas em diferentes ambientes.

Conforme Sousa Júnior (2014) a robótica educacional é uma abordagem pedagógica que utiliza a tecnologia dos robôs como recurso educativo para promover o aprendizado de forma prática e interativa, desenvolvendo habilidades como pensamento computacional, resolução de problemas, trabalho em equipe e criatividade.

Os componentes eletrônicos utilizados na robótica educacional servem para construir mecanismos que podem auxiliar docentes e discentes em sala de aula. Esses mecanismos em união e funcionamento, com um fim específico geralmente são denominados protótipos.

Dessa forma, foi idealizado a construção de um protótipo de identificação de notas musicais por meio da vibração mecânica, onde será necessário, seguir os passos: 1) Identificação de cores das notas musicais e; 2) hertz específicos de cada nota.

As notas musicais foram classificadas visualmente por meio de cores. Mardirossian e Chew (2007) explicam a relação das notas musicais com as cores. Na Figura 1 vemos um disco contendo letras A, B, C, D, E, F e G, denominada círculo de quintas, onde as notas musicais no anel externo representam as notas principais, enquanto as notas no anel interno representam as tonalidades menores, envolvendo os tons maiores e menores da notação musical. Podem ser também classificadas como uma sucessão de notas musicais que são distanciadas por intervalos.

Figura 1 – Notas musicais e suas cores



Fonte Mardirossian e Chew (2007)

O círculo externo mostra os tons maiores e o círculo interno os tons menores. As notas musicais mostradas na Figura 1 traduzidas para o português Brasil são:

- 1) A = Lá, Ab = Lá bemol e, a = lá menor;
- 2) B = Si, Bb = Si Bemol, b = si menor, e, bb= si bemol menor;
- 3) C = Dó, c = dó menor e, c# = dó sustenido menor;
- 4) D = Ré, d = ré menor, Db = Ré bemol, e, d# = ré sustenido menor;
- 5) E = Mi, Eb = Mi bemol, e, = mi menor;
- 6) F = Fá, FÁ# = Fá Sustenido, f = fá menor e, f# = fá sustenido menor;
- 7) G = Sol, g# = sol sustenido e, g = sol menor.

Além das cores das notas musicais citadas temos a frequência em hertz da onda sonora onde pode-se observar na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Tabela de frequências sonoras em hertz

Notas		1	2	3	4	5	6	7	8
01	C	32,70	65,41	130,82	261,63	523,25	1046,50	2093,00	4186,00
02	C#	34,65	69,30	136,60	277,20	554,37	1108,73	2217,46	4434,92
03	D	35,71	73,42	146,83	293,66	567,33	1174,66	2349,32	4698,64
04	D#	36,70	77,78	155,57	311,13	622,25	1544,51	2469,01	4938,02
05	E	20,06	41,20	82,41	164,81	329,63	659,25	1318,51	2637,02
06	F	21,83	43,65	87,31	174,61	349,23	689,45	1396,92	2793,83
07	F#	23,12	46,25	92,50	184,99	369,99	739,99	1479,98	2959,95
08	G	24,49	48,99	97,99	195,99	391,99	783,99	1567,89	3135,96
09	G#	25,95	51,91	103,02	207,65	415,30	830,60	1661,22	3322,44
10	A	27,50	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00
11	A#	29,13	58,27	116,54	233,10	466,16	932,33	1864,65	3729,31
12	B	30,87	61,74	123,48	246,94	493,88	986,76	1975,53	3951,10

Fonte Froza (2019)

Na Tabela 1 pode-se observar a tabela de frequência em hertz para as frequências sonoras. Na coluna Notas percebe-se a quantidade de notas de 01 a 12, ao lado direito na mesma coluna de há a sequência C (Dó), C# (Dó Sustenido ou Ré bemol), D (Ré), D# (Ré Sustenido ou Mi bemol), E (Mi), F(Fá), F# (Fá Sustenido ou Sol bemol), G (Sol), G# (Sol Sustenido ou Lá bemol), A (Lá), A# (Lá Sustenido ou Si bemol), e B (Si). Já nas colunas de 1 a 8 há a notação matemática em hertz, ou seja, quando se executa a nota musical C (Dó) da coluna 4 será executado e vibrado o hertz 261,63 hertz.

De acordo com Froza (2019) existe uma relação entre acústica e vibração do ar que pode ser observado a seguir:

A psicoacústica estuda a relação entre as sensações auditivas e o fenômeno físico da vibração do ar, cuja relação trouxe conceitos que inspiraram a criação de vários algoritmos na área de áudio. O som é medido fisicamente por: • Altura: que é determinada pela frequência das vibrações, isto é, da sua velocidade (quanto maior for a velocidade da vibração mais agudo será o som). • Duração: sendo a extensão de um som que é determinada pelo tempo de emissão das vibrações. • Intensidade: que representa a amplitude das vibrações que é o grau do volume sonoro. • Timbre: que é a combinação das vibrações, o timbre é a “cor” do som de cada instrumento. A mais importante das características do som é a altura, pois é determinada pela sua frequência fundamental. O ouvido humano pode reconhecer frequências de 20 Hz a 20K Hz. Sons fora desse intervalo não são percebidos pela maioria das pessoas porque não possuem energia suficiente para vibrar o tímpano, ou porque a frequência é tão alta que o tímpano não consegue perceber. (FROZA, 2019, p. 13).

O trecho anterior de Froza (2019) informou que os conceitos estudados em psicoacústica inspiraram a criação de vários algoritmos na área de áudio. Sendo a psicoacústica, uma área que estuda a relação entre as sensações auditivas e o fenômeno físico da vibração do ar. Informa também que o som pode ser medido fisicamente em termos de altura, duração, intensidade e timbre. A altura é determinada pela frequência das vibrações e é a característica mais importante do som. A autora informa que o ouvido humano pode reconhecer frequências de 20Hz a 20KHz e sons fora desse intervalo não são percebidos pela maioria das pessoas.

Para aplicar os conceitos de hertz da Tabela 1 se faz necessário programar a placa Arduino. A programação do Arduino permite a personalização das frequências de vibração, que são correspondentes às notas musicais. Esses pulsos são então convertidos em vibrações mecânicas por meio de um motor de vibração conectado ao Arduino.

Ao programar o Arduino, é possível definir a frequência da vibração para cada nota musical. Por exemplo, a nota Lá pode ser associada a uma frequência de vibração de 440Hz. Quando o Arduino é alimentado com essa frequência, o motor de vibração produz uma vibração correspondente à nota Lá.

Essa abordagem proporciona uma experiência interativa e imersiva, permitindo aos discentes explorar e entender as relações entre o som e o movimento. Por meio dessa conexão entre hardware, software e percepção sensorial, é possível criar composições musicais e experimentar as diferentes sensações produzidas pelas vibrações.

O uso da vibração como uma forma de representação sonora proporciona uma abordagem multidimensional e enriquecedora no campo da música e da educação. Além disso,

essa tecnologia pode ser explorada em diferentes contextos, como atividades educacionais, terapias sensoriais e projetos de arte interativa.

Portanto, ao conectar os hardwares, programar o Arduino e conectar os fios corretamente, os participantes são convidados a explorar e experimentar a conexão entre música e vibração, ampliando suas percepções e possibilidades criativas.

Metodologia

A proposta de aplicação da metodologia consiste em uma aula baseada em projeto onde os alunos serão convidados a construir o protótipo conectando os componentes à placa protoboard e à Plataforma Arduino, todos no sistema simulador TinkerCad (2023) ou em hardware físico.

Ao conectar os componentes físicos e programar o Arduino utilizando a Linguagem de Programação C++, vide Apêndice, os discentes serão convidados a explorar a experiência sensorial. Nesse contexto, cada nota musical é associada a uma vibração específica emitida pelo hardware.

A seguir em - Metodologia - Proposta de Ensino - há a proposta de ensino para construção do protótipo.

Metodologia - Proposta de Ensino

Existem diversas metodologias de ensino diferentes que podem ser encontradas em pesquisas em bases de dados, dependendo do objetivo do estudo e do contexto. Conforme Sefton e Galini (2018) alguns dos tipos de metodologias de ensino mais comuns são: 1) Aprendizagem baseada em problemas, os alunos aprendem por meio da resolução de problemas do mundo real, trabalhando em equipe e aplicando conhecimentos adquiridos em situações práticas; 2) Aprendizagem baseada em projetos, os alunos trabalham em projetos de longo prazo, que envolvem pesquisa, colaboração, criatividade e solução de problemas; 3) Gamificação, os professores usam elementos de jogos em atividades de ensino, como pontuações, rankings, desafios e recompensas, para engajar e motivar os alunos; 4) Estudo de caso, os alunos analisam e discutem casos reais ou fictícios para compreender conceitos, princípios e estratégias relacionadas a um tema ou disciplina; 5) Sala de aula invertida, os alunos

estudam conteúdos antes da aula, por meio de vídeos, textos ou outras atividades, e utilizam o tempo de aula para discutir, realizar atividades práticas e tirar dúvidas.

A proposta de metodologia é a aprendizagem baseada em projetos, pois os discentes serão convidados a construir o protótipo que, no final, poderão constatar se obtiveram sucesso no aprendizado. O professor irá mediar a construção, seja no simulador web TinkerCad (2023) ou com os componentes físicos, denominados hardwares.

O público-alvo são alunos do curso de Técnico em Eletrotécnica na matéria de Ferramentas Matemáticas Aplicadas à Eletricidade sob tema período e frequência, conforme Projeto pedagógico do curso técnico em eletrotécnica (2019). Além desse público pode-se realizar a inclusão digital para que pessoas surdas ou baixa visão possam ter acesso ao hardware produzido e sentir as diferenças existentes entre as sete notas musicais.

A turma pode ser dividida em dez alunos por aula: 1) Duas aulas para conceitos de robótica com foco em componentes eletrônicos; 2) Duas aulas para conceitos de linguagem de programação; 3) Duas aulas para conceitos de Física com foco em Período e Frequência; 2) Duas aulas para construção do projeto. Essas aulas podem ser desenvolvidas aos sábados para não interferir no Projeto pedagógico do curso técnico em eletrotécnica (2019).

A seguir constam - Discussões e Resultados - obtidos através da construção do protótipo.

Discussões e Resultados

Foi desenvolvido através do sistema web Tinkercad (2023) um protótipo. Além desse protótipo os discentes poderão construir o hardware fisicamente. O projeto contribuirá para o conteúdo de período e frequência da matéria de Ferramentas Matemáticas Aplicadas à Eletricidade, onde a onda sonora, algo que não pode ser tocado, pode ser identificado mecanicamente e isso dará ao aluno uma nova forma de entender o funcionamento dessa técnica.

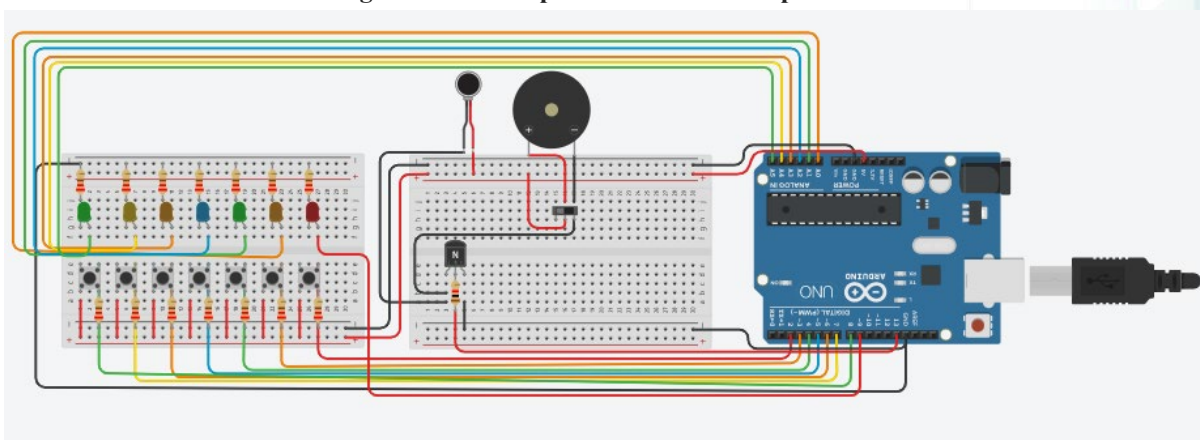
A diferença entre aula baseada em projetos e aula com abordagem tradicional é que o aluno pode identificar a diferença entre uma onda senoidal e outra, virtualmente ou fisicamente. Se fosse aplicada apenas a abordagem tradicional o conteúdo ficaria apenas na imaginação do discente.

As desvantagens da abordagem é que se o professor e o aluno quiserem realizar a atividade fisicamente (hardware), o ambiente escolar precisará ter os componentes eletrônicos. De igual modo, para realizar a utilização do simulador web precisará ter acesso a computadores/laboratório.

As vantagens da construção do protótipo em hardware físico é que, os componentes eletrônicos empregados têm valores acessíveis. Como a aula é baseada em projeto, quando o discente e docente terminarem o protótipo poderá ser testado, gerando assim maior aprendizado.

A Figura 6 mostra o protótipo criado por meio do simulador TinkerCad (2023).

Figura 6 – Protótipo com todos os componentes



Fonte: Autoria Própria.

Na seção a seguir - Discussões e Resultados - Componentes de Hardware e Utilização – será informado quais os tipos de hardware foram utilizados no sistema web Tinkercad (2023), um breve conceito de Período e Frequência, bem como a imagem criada por meio do simulador web.

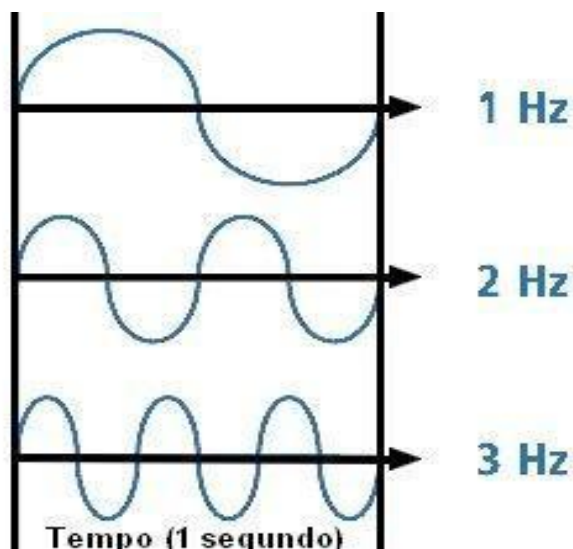
Discussões e Resultados - Componentes de Hardware e Utilização

A utilização do protótipo na sala de aula do curso Técnico em Eletrotécnica do IFMS, na Unidade Curricular (matéria) Ferramentas Matemáticas Aplicadas à Eletricidade sob tema período e frequência, consiste em mostrar ao estudante que a Frequência é produzida mecanicamente pode ser percebido por meio do motor de vibração que há no equipamento. Não só o motor de vibração, mas o diodo chamado de LED (Light Emitter Diode - Diodo Emissor de Luz) emitem a luz conforme o discente aperta o botão denominado Push. Além disso, há também uma chave que pode ligar ou desligar o Piezo, que são cristais que geram tensão elétrica por resposta a uma pressão mecânica.

A proposta de criação do protótipo é demonstrar que a vibração, oscilação, ou seja, qualquer movimento que se repita de forma regular, ou irregular dado um intervalo de tempo gera ondas, por exemplo, um pêndulo simples, que tem diferentes valores de energia cinética e energia potencial ao longo de sua trajetória. Conforme Hallal et al. (2017) a frequência de vibração é mensurada em Hertz (Hz) e representa o número de ciclos de movimento por segundo. A amplitude é caracterizada pelo deslocamento vertical da onda vibratória, sendo expressa em unidades de medidas de comprimento (milímetro, por exemplo).

Na Figura 3 percebemos a frequência que indica o número de repetições durante uma unidade de tempo. O termo F(Hz) representa a Frequência em Hertz e T(s) representa o Tempo em Segundo. Note que quanto mais hertz empregados em um segundo, menor será o comprimento da onda.

Figura 3 – Diferença de Frequências em Hertz em um segundo.



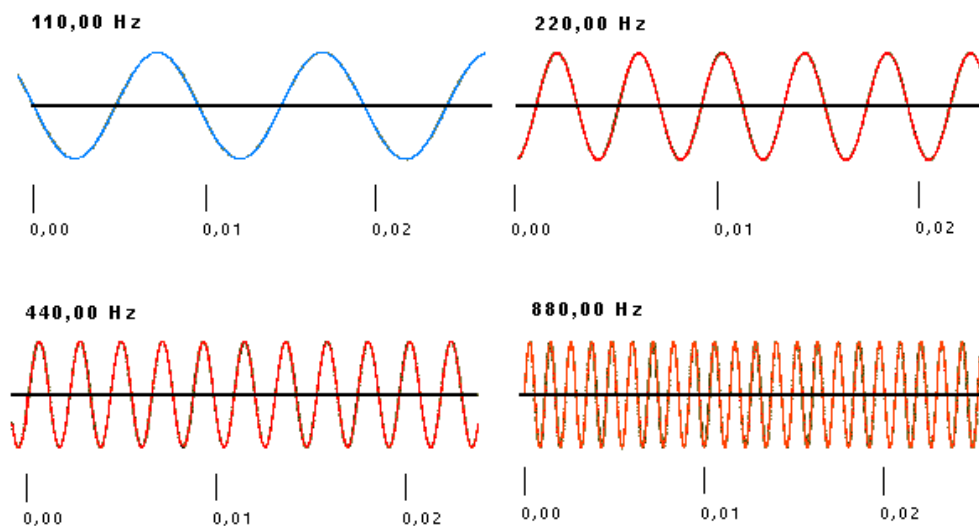
Fonte < <https://www.electronica-pt.com/frequencia-comprimento-onda> >. Acesso em: 02 maio 2023

Conforme "ELECTRONICA-PT", (2023) existem dois tipos de Unidade de Frequência (f), o Hertz para os sistemas eletromagnéticos e a Rotação Por Minuto (RPM) para os sistemas mecânicos. Sendo o tempo necessário para executar uma oscilação chamado de Período (T) e a distância percorrida pela onda durante o tempo de Comprimento de Onda e o cálculo matemático $F=1/T$.

Na Figura 4 nota-se que, quanto maior a oscilação em um segundo, maior será a frequência. Ao observar a Figura 4 em seu canto superior esquerdo vemos 110,00 Hertz (Hz), onde a onda está bem aberta. Ao lado direito, no canto superior, a onda diminui seu espectro e seu valor se torna 220,00 Hz. No canto inferior esquerdo percebemos que o espectro diminui

ainda mais quando o valor em hertz se torna 440,00 e por fim, no canto inferior direito, o valor de 880,00 Hz as ondas ficaram mais finas ainda.

Figura 4 – Diferenças de oscilações em um segundo.



Fonte < <https://magroove.com/blog/pt-br/frequencia/> >. Acesso em: 02 maio 2023

As interações realizadas pelos discentes e professor será a de identificar que cada nota musical pode ser percebida por meio de seu hertz específico mecanicamente. Sendo que para o aluno possa sentir a vibração mecânica de cada nota musical, deve realizar os seguintes comandos, para cada nota musical, da esquerda para direita da Figura 1: 1) Dó, ao apertar botão acenderá a LED verde e o motor de vibração executará 261.6 hertz; 2) Ré, ao apertar botão acenderá a LED amarela e o motor de vibração executará 293.7 hertz; 3) Mi, ao apertar botão acenderá a LED laranja e o motor de vibração executará 329.6 hertz; 4) Fá, ao apertar botão acenderá a LED azul e o motor de vibração executará 349.2 hertz; 5) Sol, ao apertar botão acenderá a LED verde e o motor de vibração executará 392.0 hertz; 6) Lá, ao apertar botão acenderá a LED laranja e o motor de vibração executará 440.0 hertz; 7) Si, ao apertar botão acenderá a LED vermelha e o motor de vibração executará 493.9 hertz.

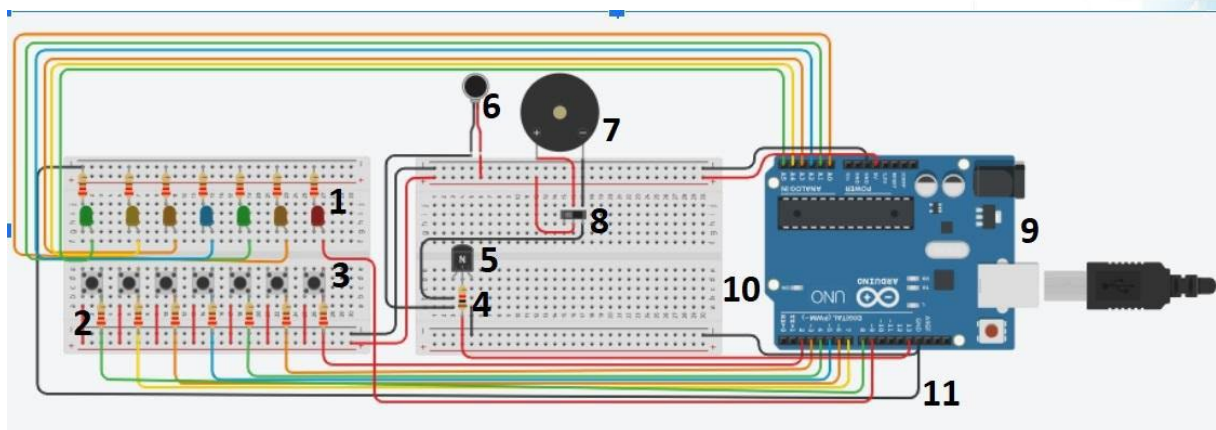
Para construção do protótipo serão necessários os seguintes componentes eletrônicos:

- 1) Sete leds normais;
- 2) Quatorze Resistores de 220 Ohms;
- 3) Sete Push Button;
- 4) Um Resistor de 1 KOhms;

- 5) Um Transistor NPN (BJT);
- 6) Um Motor de Vibração;
- 7) Um Piezo;
- 8) Um Interruptor deslizante;
- 9) Uma Plataforma Arduino UNO;
- 10) Duas Placas Protoboard – placa de ensaio pequena(proto-board);
- 11) Fios para ligação dos componentes;
- 12) Sistema Web Simulador TinkerCad (2023);
- 13) Linguagem de programação C++.

Na Figura 5 há os componentes eletrônicos empregados, cada número faz referência aos itens citados anteriormente.

Figura 5 – Componentes Eletrônicos.



Fonte: Autoria Própria.

As possíveis contribuições que o protótipo trará para os alunos e sociedade são: 1) Discente, independente da sua condição física, seja ouvinte, surdo, baixa visão, poderá sentir a vibração de cada nota musical; 2) Entenderá mecanicamente as diferentes vibrações mecânicas.

Considerações Finais

A construção do protótipo para identificar as notas musicais por meio da vibração mecânica dará ao discente a possibilidade de identificar que é possível entender mecanicamente

os hertz específicos de cada nota musical e isso responde a pergunta inicial de como demonstrar o funcionamento, mecanicamente, das ondas sonoras.

A pesquisa aqui realizada poderá ser continuada futuramente como base para construção de sistema computacional para dispositivos móveis utilizando o motor de vibração para explicar os hertz de notas musicais ou explicação física das diferenças das ondas senoidais existentes.

Poderá ser utilizada também para que pessoas surdas ou pessoas com baixa visão possam identificar as notas musicais, com suas diferenças mecânicas, tendo a possibilidade de entender por meio do tato cada uma delas.

Referências

BRAIDA, Frederico.; NOJIMA, V. L. **Design para os sentidos e o insólito mundo da sinestesia**. Revista de Design, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 45-58, 2008.

ELECTRONICA-PT. **Frequência e comprimento de onda**. Disponível em: < <https://www.electronica-pt.com/frequencia-comprimento-onda> >. Acesso em: 02 maio 2023.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO DO SUL - IFMS. **Projeto pedagógico do curso técnico em eletrotécnica**. Campo Grande, 2019. Disponível em: < <https://www.ifms.edu.br/centrais-de-conteudo/documentos-institucionais/projetos-pedagogicos/projetos-pedagogicos-dos-cursos-tecnicos/projeto-pedagogico-do-curso-tecnico-em-eletrotecnica-campo-grande.pdf> >. Acesso em: 03 mai. 2023.

FROZA, Ana Carolina. **Deteção de acordes musicais por meio de informações espectrais**. 2019. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Departamento Acadêmico de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

HALLAL, Camilla Zamfolini; MARQUES, Nise Ribeiro; GONÇALVES, Mauro. **O uso da vibração como método auxiliar no treinamento de capacidades físicas: uma revisão da literatura**. 2017.

MARDIROSSIAN, Arpi; CHEW, Elaine. **Visualizing Music: Tonal Progressions And Distributions. (Trabalho Científico)**, 2007. Universidade da Califórnia do Sul, Departamento de Engenharia Industrial e Sistemas. Los Angeles, EUA.

SEFTON, Ana Paula; GALINI, Marcos Evandro. **Metodologias Ativas: Desenvolvendo Aulas Ativas para Uma Aprendizagem Significativa**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2022. ISBN 9786556752167.

SOUSA JÚNIOR, Luiz (Organizador). **Robótica no ensino público: Uma perspectiva interdisciplinar**. 1ª ed. São Paulo: Editora XYZ, 2014.

STANFIELD, Cindy L.; GERMANN, William J. **Princípios de Fisiologia Humana**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TINKERCAD. Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 03 mai. 2023.

Apêndice

Código de Programação Comentado em Linguagem C++

A seguir, Quadro 1, o código comentado da programação em linguagem C++ utilizada dentro do simulador TinkerCad (2023):

Quadro 1 – Código de Programação do Protótipo em Linguagem C++

```
//AUTOR SAULO PEREIRA DA SILVA  
  
//ESPECIALIZAÇÃO EM ROBÓTICA EDUCACIONAL - IFMS  
  
//PROFESSOR ORIENTADOR RENATO FERNANDO DOS SANTOS  
  
//PROPOSTA: UMA PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO PARA SENTIR  
AS SETE NOTAS MUSICAIS POR MEIO DA VIBRAÇÃO MECÂNICA.  
  
int led_do = A5; //variável para led, A5 é o local onde está conectado o positivo da led.  
  
int led_re = A4;  
  
int led_mi = A3;  
  
int led_fa = A2;  
  
int led_sol = A1;  
  
int led_la = A0;  
  
int led_si = 9;  
  
int vibra = 13;  
  
int botao_do = 8; //variavel botão, 8 é a porta onde está conectado.  
  
int botao_re = 7;  
  
int botao_mi = 6;  
  
int botao_fa= 5;
```

```
int botao_sol = 4;

int botao_la = 3;

int botao_si = 2;

int estado_botao_do = 0;//o estado do botão será sempre 0 para identificar que está desligado,
por padrão.

int estado_botao_re = 0;

int estado_botao_mi = 0;

int estado_botao_fa= 0;

int estado_botao_sol = 0;

int estado_botao_la = 0;

int estado_botao_si = 0;

void setup() {

  pinMode(led_do, OUTPUT); //led, porta de saída

  pinMode(led_re, OUTPUT);

  pinMode(led_mi, OUTPUT);

  pinMode(led_fa, OUTPUT);

  pinMode(led_sol, OUTPUT);

  pinMode(led_la, OUTPUT);

  pinMode(led_si, OUTPUT);

  pinMode(vibra, OUTPUT);

  pinMode(botao_do, INPUT); //botão, porta de entrada

  pinMode(botao_re, INPUT);

  pinMode(botao_mi, INPUT);

  pinMode(botao_fa, INPUT);

  pinMode(botao_sol, INPUT);
```

```

pinMode(botao_la, INPUT);
pinMode(botao_si, INPUT);
}
void loop(){
    estado_botao_do = digitalRead(botao_do); //Lê o valor botão e armazena em estadoButton
    estado_botao_re = digitalRead(botao_re);
    estado_botao_mi = digitalRead(botao_mi);
    estado_botao_fa = digitalRead(botao_fa);
    estado_botao_sol = digitalRead(botao_sol);
    estado_botao_la = digitalRead(botao_la);
    estado_botao_si = digitalRead(botao_si);
    if (estado_botao_do == HIGH) { //Se estado_botao_do for igual a HIGH ou 1
        digitalWrite(led_do , HIGH); //Define led_do como HIGH, ligando o LED
        if(estado_botao_do == HIGH){ //se o estado do Dó for ligado então
            digitalWrite(vibra, HIGH); //liga o motor de vibração
            delay(261.6);
        }
    }
    if (estado_botao_re == HIGH) { //Se estado_botao_do for igual a HIGH ou 1
        digitalWrite(led_re , HIGH); //Define led_do como HIGH, ligando o LED
        if(estado_botao_re == HIGH){ //se o estado do Dó for ligado então
            digitalWrite(vibra, HIGH); //liga o motor de vibração
            delay(293.7);
        }
    }
}
}

```



```

if (estado_botao_mi == HIGH) { //Se estado_botao_do for igual a HIGH ou 1
    digitalWrite(led_mi , HIGH); //Define led_do como HIGH, ligando o LED
    if(estado_botao_mi == HIGH){ //se o estado do Dó for ligado então
        digitalWrite(vibra, HIGH); //liga o motor de vibração
        delay(329.6);
    }
}

if (estado_botao_fa == HIGH) { //Se estado_botao_do for igual a HIGH ou 1
    digitalWrite(led_fa , HIGH); //Define led_do como HIGH, ligando o LED
    if(estado_botao_fa == HIGH){ //se o estado do Dó for ligado então
        digitalWrite(vibra, HIGH); //liga o motor de vibração
        delay(349.2);
    }
}

if (estado_botao_sol == HIGH) { //Se estado_botao_do for igual a HIGH ou 1
    digitalWrite(led_sol , HIGH); //Define led_do como HIGH, ligando o LED
    if(estado_botao_sol == HIGH){ //se o estado do Dó for ligado então
        digitalWrite(vibra, HIGH); //liga o motor de vibração
        delay(392.0);
    }
}

if (estado_botao_la == HIGH) { //Se estado_botao_do for igual a HIGH ou 1
    digitalWrite(led_la , HIGH); //Define led_do como HIGH, ligando o LED
    if(estado_botao_la == HIGH){ //se o estado do Dó for ligado então
        digitalWrite(vibra, HIGH); //liga o motor de vibração

```

```

    delay(440.0);
  }
}
if (estado_botao_si == HIGH) { //Se estado_botao_do for igual a HIGH ou 1
  digitalWrite(led_si , HIGH); //Define led_do como HIGH, ligando o LED
  if(estado_botao_si == HIGH){ //se o estado do Dó for ligado então
    digitalWrite(vibra, HIGH); //liga o motor de vibração
    delay(493.9);
  }
}
else { //Senão = estado_botao_do for igual a LOW ou 0
  digitalWrite(led_do, LOW); //Define led_do como LOW, desligando o LED
  digitalWrite(led_re, LOW);
  digitalWrite(led_mi, LOW);
  digitalWrite(led_fa, LOW);
  digitalWrite(led_sol, LOW);
  digitalWrite(led_la, LOW);
  digitalWrite(led_si, LOW);
  digitalWrite(vibra , LOW);
}
}
}

```

Fonte: Autoria Própria