

CONSTRUÇÃO DE UMA BOBINA DE TESLA MUSICAL COM A UTILIZAÇÃO DE PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM

Henrique Tufano Alvarenga¹; Breno Protz Dias¹; Catarina Akiko Miyamoto^{2,4}; Richard Vieira do Espirito Santo^{3,4*}

¹Graduando em Engenharia da Computação, Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS; ²Farmacêutica-Bioquímica – USP; Doutora em Ciências Biológicas (Bioquímica) – USP; Pós-doutorado – Weill Medical College of Cornell University; ³ Esp. em Engenharia de software – Universidade Estácio de Sá; ⁴ Esp. em Segurança da Informação – Instituto de Gestão e Tecnologia da Informação; ⁴ Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

* autor correspondente: richard_ves@hotmail.com

RESUMO

A bobina de Tesla musical é uma ferramenta educativa que permite demonstrar de forma interativa e dinâmica os princípios da eletricidade, magnetismo, programação e componentes eletrônicos. O artigo descreve o processo de confecção da bobina, que consiste em duas bobinas enroladas em torno de um núcleo ferromagnético. A primeira bobina, chamada de primária, é alimentada por uma fonte de alta tensão. A segunda bobina, chamada de secundária, é enrolada em torno da primária e tem um número muito maior de espiras. um arco elétrico é estabelecido entre as espiras da bobina primária, é gerado um campo eletromagnético na bobina secundária. Esse campo eletromagnético induz uma corrente elétrica na bobina secundária. A corrente elétrica na bobina secundária gera um campo magnético próprio, que interage com o campo magnético da bobina primária. Essa interação cria um circuito magnético oscilante, que gera ondas eletromagnéticas de alta frequência. O artigo apresenta um passo a passo para a confecção da bobina, incluindo a seleção dos componentes, a montagem da estrutura e a instalação do circuito. A bobina pode ser construída com materiais de baixo custo, o que a torna acessível a estudantes e educadores. O artigo também apresenta o código do circuito Arduino, que é responsável por gerar o sinal de alta frequência para alimentar a bobina. O código é simples e pode ser modificado para gerar diferentes efeitos sonoros.

PALAVRAS-CHAVE: bobina de Tesla; Arduino; eletricidade.

1 INTRODUÇÃO

Em eletrônica, emprega-se o termo “bobina” para designar qualquer fio condutor elétrico enrolado sobre si mesmo ou em torno de uma superfície também condutora. Essa composição de fios tem uma variedade de aplicações que remontam aos seus estágios iniciais. Sua operação é fundamentada no princípio de que a passagem de corrente elétrica

através de um enrolamento de fios resulta na criação de um campo magnético. De forma inversa, ao interromper o campo magnético, ocorre a geração de eletricidade em qualquer enrolamento de fio localizado nas linhas de força magnética (CASTILHO,2012).

1.1 Bobina de Tesla

Por volta de 1890, Nikola Tesla desenvolve uma bobina (transformador

ressonante) constituída de um transformador ressonante capaz de produzir tensões altíssimas a uma frequência elevada, posteriormente denominada bobina de Tesla (MATTEDE, 2014).

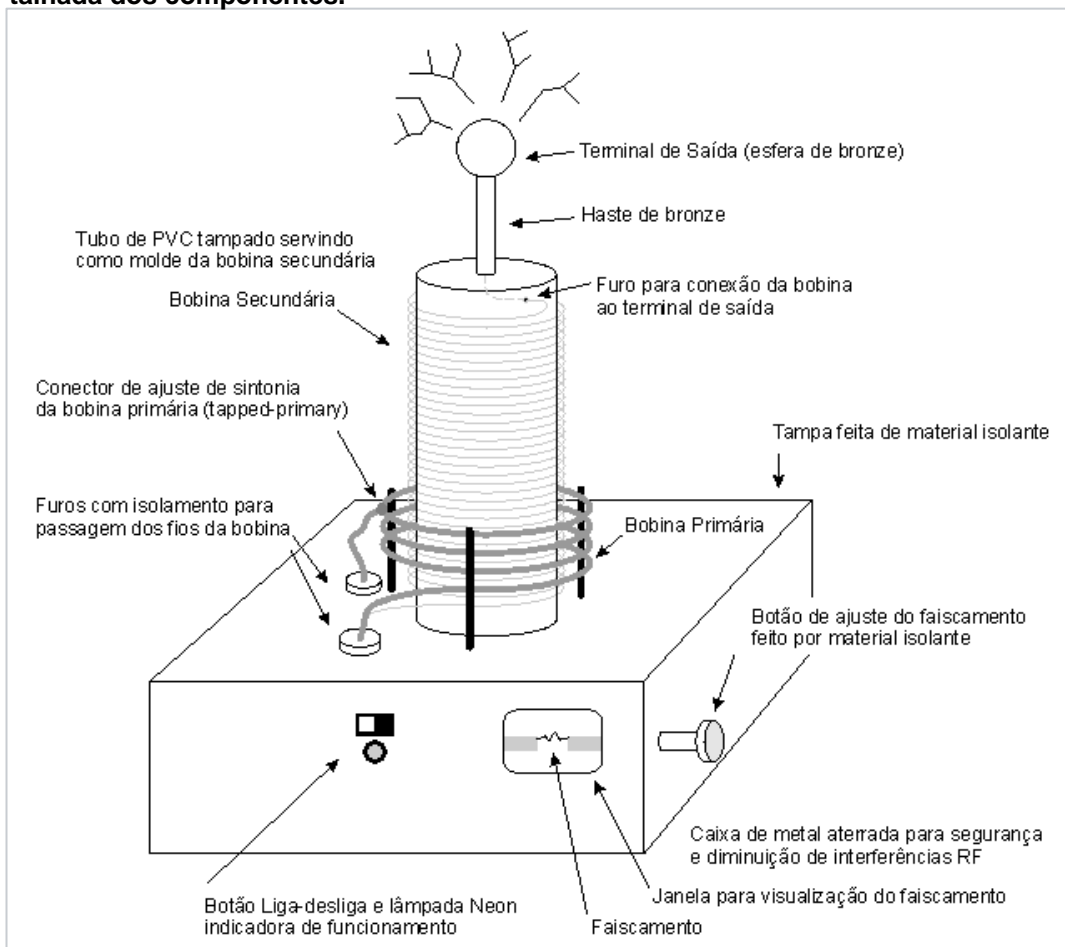
O centelhador controla o fluxo de corrente elétrica na bobina e fornece uma rota de escape para a energia acumulada. Sua principal na bobina de Tesla é proteger o transformador e seus componentes contra sobretensões. Quando a tensão na bobina atinge um valor crítico, o centelhador permite que a energia excedente seja descarregada na forma de uma centelha elétrica (CHIQUITO; LANCIOTTI Jr., 2000).

A forma mais comum de bobina é constituída por um capacitor primário e

um transformador com núcleo de ar. O capacitor primário descarrega energia elétrica sobre a bobina primária por meio de um centelhador (MATTEDE, 2014).

A bobina primária tem poucas espiras de fio de cobre, é montada próxima à base da bobina secundária. O circuito secundário é formado por uma bobina secundária cilíndrica, montada centrada sobre a bobina primária, que ressona com sua própria capacitância distribuída e com a capacitância de um terminal montado no topo da bobina. A base da bobina secundária é ligada à terra, ou a um condutor com grande capacitância distribuída, que serve como contrapeso (MATTEDE, 2014).

Figura 1. Desenho esquemático da bobina de Tesla montada com a visualização detalhada dos componentes.



Fonte: Extraído de Digston.com, 2021.

Os circuitos primário e secundário são ajustados para ressonar na mesma

frequência, assim o sistema opera de forma similar a dois pêndulos acoplados

com massas diferentes, em que as oscilações em baixa tensão e alta corrente no circuito primário são gradualmente transferidas para o circuito secundário aparecendo como oscilações de baixa corrente e alta tensão. Ao esgotar a energia no circuito primário, o centelhador para de conduzir e a energia oscila no circuito secundário apenas no momento da alimentação em forma de arcos voltaicos (CHIQUITO; LANCIOTTI Jr., 2000).

Uma característica da bobina de Tesla é ter uma construção simplificada, porém dependendo de seu tamanho e da potência da carga, pode se tornar extremamente perigosa, pois é capaz de elevar as correntes elétricas a potências extremamente altas (de 250 kA a 2 MA) e o seu contato com seres humanos pode provocar queimaduras de terceiro grau e até a morte. Além disso, a aproximação de um bastão de metal pode atrair a energia e acender uma lâmpada ou mesmo provocar faíscas. Dessa maneira, deve-se mitigar os riscos usando de medidas de segurança (MATTEDE, 2014).

A Figura 1 apresenta a ilustração esquemática de uma bobina montada, cujos principais componentes são as bobinas principal, secundária e terminal de saída.

1.1.1 Componentes da bobina de Tesla

1.1.1.1 Transformador ou *flyback*

O transformador de saída horizontal (TSH) tem por função gerar alta tensão que acelera os elétrons no cinescópico (tubo de imagem) a milhares de Volts, além de gerar sinal em forma de dente de serra na varredura horizontal (BRAGA, 2016).

O ar seco tem rigidez dielétrica de 10.000 V/cm, ou seja, na existência de dois condutores (esféricos) separados por uma distância de 1 cm e a diferença de potencial entre eles for de 10.000 V, o ar passa de isolante para condutor e gera um arco elétrico, responsável por

gerar os efeitos sonoros. Em outras palavras, a cada 1 cm de distância, há necessidade de 10.000 V de diferença de potencial para a geração do arco elétrico (Quadro 1). Deste modo, a geração do arco elétrico permite a avaliação da tensão existente em um determinado circuito por meio da faísca produzida. No entanto, a rigidez dielétrica de um meio, e subsequentemente, seu isolamento diminui muito com a presença de impurezas e de umidade. Nesta situação, podem surgir arcos voltaicos entre as diversas camadas do isolamento de um *fly-back*, que são prejudiciais à bobina, por esse motivo é extremamente importante a isolação das saídas de carga das espiras (MOREIRA, 2000).

Quadro 1. Potência necessária para a geração do arco elétrico conforme a distância.

Distância entre condutores (cm)	Potência necessária para conversão da rigidez do ar (isolante → condutor) (V)
1	10.000
2	20.000
3	30.000

Fonte: Elaborado pelos autores.

1.1.1.2 Transistor

Os transistores, dispositivos semicondutores, geralmente feitos de silício ou germânio, são como blocos fundamentais na construção de todos os dispositivos eletrônicos modernos, pois têm a função de amplificar ou atenuar a intensidade da corrente elétrica em circuitos eletrônicos. Estão presentes em chips de computadores e *smartphones*, por exemplo. Quando na função de amplificador, os transistores são alimentados por uma baixa corrente elétrica de entrada, amplificando-a e, assim produz uma corrente elétrica de saída com maior intensidade. Os transistores também podem funcionar como interruptores, ligando ou desligando a corrente elétrica em um circuito: da mesma forma como eles são capazes de amplificar a corrente elétrica, eles também são capazes de atenuá-la, e esse processo pode

ocorrer em uma grande velocidade, podendo atingir bilhões de vezes por segundo. Essa função fez dos transistores os componentes básicos de todos os chips eletrônicos. Todos esses chips funcionam por meio de uma língua bastante simples, o código binário. Os computadores são capazes de traduzir um extenso código formado pelos dígitos 0 e 1 (também denominados *bits*), em letras, palavras e imagens. Os *bits* são implementados pelos transistores (COMPUTER HISTORY MUSEUM, 2019).

Em um circuito, podem ser encontrados transistores PNP (positivo, negativo, positivo), NPN (negativo, positivo, negativo) ou MOSFET. Sua substituição é feita através dos seguintes dados: valor do coletor, emissor e base (MATTEDE, 2014).

1.1.1.3 Fonte de alimentação

A fonte de alimentação é utilizada para alimentar cargas elétricas. Cada dispositivo eletroeletrônico necessita de uma fonte para prover energia para seus componentes (WEQ, 2021).

1.1.1.4 Jumper

Jumper é um pequeno condutor utilizado para conectar dois pontos de um circuito eletrônico. São geralmente utilizados para configurar placas de circuitos, como placas-mãe de computadores (GUEDES, 2023)

1.2 Bobina de Tesla musical

A bobina de Tesla musical é uma versão alternativa da bobina de Tesla utilizada com o propósito de criar música por meio de descargas elétricas controladas. A bobina de Tesla modifica a frequência e a intensidade das descargas elétricas, quebrando a barreira dielétrica do ar, produzindo sons. A bobina de Tesla musical tem por finalidade controlar essas descargas elétricas para produzir notas específicas em uma determinada sequência para gerar uma música utilizando uma plataforma de prototipagem,

enquanto a bobina de Tesla tradicional somente produz as descargas sem as controlar. Essas características podem incluir a capacidade de modular a frequência das descargas para criar tons diferentes, controlar a intensidade das descargas para ajustar o volume dos sons produzidos e até mesmo gerar padrões específicos de descargas para criar sequências musicais. Os sons gerados por uma bobina de Tesla musical são resultado da interação entre as descargas elétricas e o ambiente ao redor, incluindo o ar, objetos próximos e até mesmo a própria bobina (MARUCCO, 2019).

1.2.1 Principais componentes da bobina de Tesla musical

A plataforma de prototipagem (microcontrolador Arduino) e os resistores são os principais componentes da bobina de Tesla musical.

1.2.1.1 Plataforma de prototipagem (Arduino)

O Arduino é uma plataforma de prototipagem que auxilia na programação de um microcontrolador capaz de se comunicar com outros periféricos eletrônicos, a fim de executar funções de modo automático e facilitar os mais variados processos do dia a dia. Vale ressaltar, que essa tecnologia é utilizada quando a ferramenta a ser desenvolvida ainda está em processo de prototipagem, ou seja, em fase de testes, pois o seu propósito é acelerar o andamento do projeto, disponibilizando uma versão mais simples, porém funcional do projeto inicial (THOMSEN, 2014).

Uma das vantagens do Arduino é poder modificar o projeto todo facilmente sem a necessidade de se iniciar novamente todo o projeto. Seu propósito é acelerar o desenvolvimento do projeto, pois disponibiliza uma versão mais simplificada, porém funcional do projeto inicial (ROSA, 2017).

1.2.1.2 Resistor

Resistor ou resistência tem como principal função, limitar o fluxo de cargas elétricas por meio da conversão da energia elétrica em energia térmica. Os resistores são geralmente feitos a partir de materiais dielétricos, com grande resistência elétrica. A grande resistência elétrica dos resistores faz desses componentes eficazes em diminuir o tráfego da corrente elétrica (TRIDAN, 2021).

2 OBJETIVOS

O objetivo deste projeto é (i) desenvolver uma bobina de Tesla musical por meio do controle dos arcos elétricos (distância de 1 cm) gerados pela bobina de Tesla tradicional com a utilização de um transformador ressonante para aumentar a tensão da corrente elétrica a níveis altíssimos e ocasionar a quebra de rigidez dielétrica do ar com subsequente produção de som e (ii) controlar a potência elétrica da bobina para se obter todas as notas musicais e efetuar uma trilha sonora de acordo com a programação inserida na plataforma de prototipagem

(Arduino).

3 MATERIAL E MÉTODOS










Após determinada as especificações da bobina de Tesla musical (arcos elétricos com distância de 1 cm), projetou-se os circuitos necessários para a construção da plataforma de prototipagem, consistida em um transformador ressonante (bobina primária e capacitor em paralelo) conectado ao circuito de controle. Este foi projetado e montado para modular as descargas elétricas de forma a criar sons musicais. Após a montagem da bobina e conexão com o circuito de controle, realizaram-se testes, ajustes, refinamento e acabamento do sistema.

3.1 Material

Este projeto utilizou vários materiais eletrônicos (Quadro 2) e ferramentas (Quadro 3).

Quadro 2. Materiais eletrônicos e suas respectivas especificações utilizados.

Item	Materiais	Imagem	Fonte
1	Flyback modelo AT2079/B9. Função – elevar a tensão elétrica de 12 V para 10-30 kV (1 unidade)		Flyback AT2079/B9 - .
2	Transistor 2N3055. Função – funciona como uma chave que controla o fluxo de eletricidade (1 unidade)		Transistor 2N3055
3	Transistor BC548B. Função – controlar o pulso elétrico de acordo com a nota musical tocada (1 unidade)		Transistor BC548B
4	Resistor de 1KR / 1/4W (marrom, preto, vermelho, dourado). Função – proporcionar resistência moderada à corrente (1 unidade)		Resistor de 1K / 1/4W

Continuação do Quadro 2.			
5	Resistores de 15R / 1/4W (marrom, verde, preto, dourado). Função – proporcionar resistência leve à corrente (3 unidades)		Resistores de 15R / 1/4W
6	Arduino Uno. Função – armazenamento e controle da passagem de corrente de acordo com a nota musical programada (1 unidade)		Arduino Nano
7	Cabo USB para Arduino. Função – transferência da programação das notas musicais para o Arduino (1 unidade)		Cabo USB Tipo B
8	Fio de espessura 1,5 mm ² e comprimento 43,5 cm (cor vermelha). Função – produção da bobina primária (1 unidade)		Fio 1,5 mm
9	Fio de espessura 0,5 mm ² e comprimento de 48,5 cm (cor preta). Função – produção da bobina secundária (1 unidade)		Fio 0,5 mm
10	Fio de espessura 0,5 mm ² e comprimento de 25 cm. Função – realização da conexão entre o transistor 2N3055 e o <i>flyback</i> (1 unidade)		Fio 0,5 mm
11	<i>Jumpers</i> pra protoboard macho-macho, ~ 15 cm de comprimento. Função – realização da conexão entre a bobina de Tesla musical e o Arduino (2 unidades)		Jumpers ponta Macho-Macho
12	Arame de espessura de 0,89 mm e comprimento de 34 cm. Função – fixação dos componentes (1 unidade)		Arame espessura 0,89 mm
13	Fonte de corrente contínua 12VDC/3 ^a . Função – fornecimento de corrente elétrica (1 unidade)		Arame espessura 0,89 mm

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 3. Ferramentas utilizadas.

Item	Materiais	Imagem	Fonte
1	Ferro de Solda: Função: realizar o estanhamento nas partes elétricas. (1 unidade)		Ferro de Solda
2	Estanho Função: componente usado para estanhar (1 unidade)		Estanho
3	Pistola de Cola Quente Função: Juntar componentes da bobina (1 unidade)		Pistola de Cola Quente
4	Alicate de Corte Função: Cortar os arames e cabos (1 unidade)		Alicate de Corte
5	Alicate de Bico Função: Manipular os arames e cabos (1 unidade)		Alicate de Bico

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Métodos

3.2.1 Esquema elétrico

A Figura 2 apresenta o esquema elétrico da bobina de Tesla musical baseada na bobina de Tesla tradicional. As interconexões presentes na placa Arduino que foram estabelecidas de acordo com o seguinte arranjo: a extremidade com polo de carga positiva pertencente à bateria conecta ao terminal designado como Vin, ao passo que a extremidade de polo com carga negativa se conecta ao terminal identificado como GND. O próximo setor, o componente resistor R4 (com resistência nominal de 1 K Ω) se encontra interligado ao terminal de número 8.

O esquema foi desenvolvido com a

utilização da ferramenta Lucidchart, plataforma para a criação e compartilhamento de desenhos, diagramas e gráficos (<https://www.lucidchart.com/>).

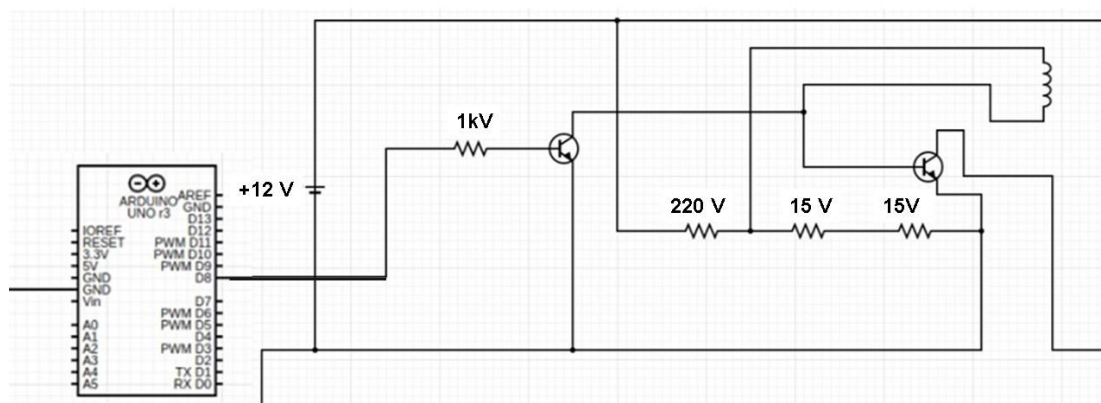
3.2.2 Montagem da bobina de Tesla musical

A construção da bobina de Tesla musical seguiu as seguintes etapas, (i) enrolamento do fio de cobre (43,5 cm) ao redor do núcleo de ferrite do flyback, passando-o por cima do núcleo; (ii) enrolamento do fio de cobre (48,5 cm) ao redor do núcleo de ferrite do flyback, passando-o por baixo do núcleo; (iii) desencapamento das extremidades dos fios para expor o cobre; (iv) soldagem das conexões do transistor 2N3055 para

firmar a solda; (v) conexão do fio de cobre (43,5 cm) ao terminal do coletor do transistor 2N3055 e o fio de 48,5 cm ao terminal da base do transistor 2N3055, juntamente com um jumper; (vi) soldagem de um arame (0,5 mm) ao terminal do emissor do transistor BC548B; (vii) soldagem de outro arame (0,5 mm) ao fio de cobre (43,5 cm); (viii) soldagem dos resistores (15 Ω) em série e anexação no

terminal do emissor do transistor BC548B. (ix) soldagem da conexão entre o fio de cobre (43,5 cm) e o arame (0,5 mm); (x) soldagem da ponta solta do o fio de cobre (48,5 cm) ao resistor (1 kΩ); (xi) conexão da fonte de energia nos arames (0,5 mm) e no fio de cobre (43,5 cm) e (xii) posicionamento do fio de cobre (48,5 cm) à distância máxima de 1cm do cabo do *flyback*.

Figura 2. Esquema elétrico da bobina de Tesla musical, baseada na bobina de Tesla tradicional, desenvolvida com a utilização.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2.3 Código

A programação baseou-se em configurar uma sequência de comandos, na qual cada um representa uma frequência sonora (LAZETTA 2017).

As definições de frequência de cada nota (DÓ RÉ MI FÁ SOL LÁ SI) foram estabelecidas por meio dos códigos para atribuir uma frequência a uma variável e consequentemente replicá-la. A priori, definiu-se o pino de saída a ser conectado à bobina como variável (*speakerPin*); a seguir, criou-se um objeto chamado *beep* (nota isolada), responsável por atribuir um valor de nota com a duração do tempo (milissegundos) conforme o comando vindo do *speakerPin* (REIS, 2017).

Os códigos para a reprodução de trechos das partituras musicais de Marcha Imperial, *Never Gonna Give You Up* e Super Mario Bros estão mostrados abaixo.

3.2.3.1 Marcha imperial int speakerPin = 8;

```
#define c 261
#define d 294
#define e 329
#define f 349
#define g 391
#define gS 415
#define a 440
#define aS 455
#define b 466
#define cH 523
#define cSH 554
#define dH 587
#define dSH 622
#define eH 659
#define fH 698
#define fSH 740
#define gH 784
#define gSH 830
#define aH 880
```

```
void setup()
{
  pinMode(speakerPin, OUTPUT);
}

void loop()
{
  march();
}

void beep (unsigned char speakerPin, int
frequencyInHertz, long timeInMilliseconds)
{
  int x;
  long delayAmount = (long)(1000000/fre-
quencyInHertz);
  long loopTime = (long)((timeInMillise-
conds*1000)/(delayAmount*2));
  for (x=0;x<loopTime;x++)
  {

    digitalWrite(speakerPin,HIGH);
    delayMicroseconds(delayAmount);
    digitalWrite(speakerPin,LOW);
    delayMicroseconds(delayAmount);

  }

  delay(20);
}

void march()
{
  beep(speakerPin, a, 500);
  beep(speakerPin, a, 500);
  beep(speakerPin, a, 500);
  beep(speakerPin, f, 350);
  beep(speakerPin, cH, 150);
  beep(speakerPin, a, 500);
  beep(speakerPin, f, 350);
  beep(speakerPin, cH, 150);
  beep(speakerPin, a, 1000);
  beep(speakerPin, eH, 500);
  beep(speakerPin, eH, 500);
  beep(speakerPin, eH, 500);
  beep(speakerPin, eH, 500);
  beep(speakerPin, eH, 500);
  beep(speakerPin, fH, 350);
  beep(speakerPin, cH, 150);
  beep(speakerPin, gS, 500);
  beep(speakerPin, f, 350);
  beep(speakerPin, cH, 150);
  beep(speakerPin, a, 1000);
  beep(speakerPin, aH, 500);
  beep(speakerPin, a, 350);
  beep(speakerPin, a, 150);
  beep(speakerPin, aH, 500);
  beep(speakerPin, gSH, 250);
  beep(speakerPin, gH, 250);
  beep(speakerPin, fSH, 125);
  beep(speakerPin, fH, 125);
  beep(speakerPin, fSH, 250);
  delay(250);
  beep(speakerPin, aS, 250);
  beep(speakerPin, dSH, 500);
  beep(speakerPin, dH, 250);
  beep(speakerPin, cSH, 250);
  beep(speakerPin, cH, 125);
  beep(speakerPin, b, 125);
  beep(speakerPin, cH, 250);
  delay(250);
  beep(speakerPin, f, 125);
  beep(speakerPin, gS, 500);
  beep(speakerPin, f, 375);
  beep(speakerPin, a, 125);
  beep(speakerPin, cH, 500);
  beep(speakerPin, a, 375);
  beep(speakerPin, cH, 125);
  beep(speakerPin, eH, 1000);
  beep(speakerPin, aH, 500);
  beep(speakerPin, a, 350);
  beep(speakerPin, a, 150);
  beep(speakerPin, aH, 500);
  beep(speakerPin, gSH, 250);
  beep(speakerPin, gH, 250);
  beep(speakerPin, fSH, 125);
  beep(speakerPin, fH, 125);
  beep(speakerPin, fSH, 250);
  delay(250);
  beep(speakerPin, aS, 250);
  beep(speakerPin, dSH, 500);
  beep(speakerPin, dH, 250);
  beep(speakerPin, cSH, 250);
```

```
beep(speakerPin, cH, 125);  
beep(speakerPin, b, 125);  
beep(speakerPin, cH, 250);  
delay(250);  
beep(speakerPin, f, 250);  
beep(speakerPin, gS, 500);  
beep(speakerPin, f, 375);  
beep(speakerPin, cH, 125);  
beep(speakerPin, a, 500);  
beep(speakerPin, f, 375);  
beep(speakerPin, c, 125);  
beep(speakerPin, a, 1000);  
}
```

3.2.3.2 *Never Gonna Give You Up* - Rick Astley

```
#define NOTE_B0 31  
#define NOTE_C1 33  
#define NOTE_CS1 35  
#define NOTE_D1 37  
#define NOTE_DS1 39  
#define NOTE_E1 41  
#define NOTE_F1 44  
#define NOTE_FS1 46  
#define NOTE_G1 49  
#define NOTE_GS1 52  
#define NOTE_A1 55  
#define NOTE_AS1 58  
#define NOTE_B1 62  
#define NOTE_C2 65  
#define NOTE_CS2 69  
#define NOTE_D2 73  
#define NOTE_DS2 78  
#define NOTE_E2 82  
#define NOTE_F2 87  
#define NOTE_FS2 93  
#define NOTE_G2 98  
#define NOTE_GS2 104  
#define NOTE_A2 110  
#define NOTE_AS2 117  
#define NOTE_B2 123  
#define NOTE_C3 131  
#define NOTE_CS3 139  
#define NOTE_D3 147  
#define NOTE_DS3 156  
#define NOTE_E3 165  
#define NOTE_F3 175  
#define NOTE_FS3 185  
#define NOTE_G3 196  
#define NOTE_GS3 208  
#define NOTE_A3 220  
#define NOTE_AS3 233  
#define NOTE_B3 247
```

```
#define NOTE_C4 262  
#define NOTE_CS4 277  
#define NOTE_D4 294  
#define NOTE_DS4 311  
#define NOTE_E4 330  
#define NOTE_F4 349  
#define NOTE_FS4 370  
#define NOTE_G4 392  
#define NOTE_GS4 415  
#define NOTE_A4 440  
#define NOTE_AS4 466  
#define NOTE_B4 494  
#define NOTE_C5 523  
#define NOTE_CS5 554  
#define NOTE_D5 587  
#define NOTE_DS5 622  
#define NOTE_E5 659  
#define NOTE_F5 698  
#define NOTE_FS5 740  
#define NOTE_G5 784  
#define NOTE_GS5 831  
#define NOTE_A5 880  
#define NOTE_AS5 932  
#define NOTE_B5 988  
#define NOTE_C6 1047  
#define NOTE_CS6 1109  
#define NOTE_D6 1175  
#define NOTE_DS6 1245  
#define NOTE_E6 1319  
#define NOTE_F6 1397  
#define NOTE_FS6 1480  
#define NOTE_G6 1568  
#define NOTE_GS6 1661  
#define NOTE_A6 1760  
#define NOTE_AS6 1865  
#define NOTE_B6 1976  
#define NOTE_C7 2093  
#define NOTE_CS7 2217  
#define NOTE_D7 2349  
#define NOTE_DS7 2489  
#define NOTE_E7 2637  
#define NOTE_F7 2794  
#define NOTE_FS7 2960  
#define NOTE_G7 3136  
#define NOTE_GS7 3322  
#define NOTE_A7 3520  
#define NOTE_AS7 3729  
#define NOTE_B7 3951  
#define NOTE_C8 4186  
#define NOTE_CS8 4435  
#define NOTE_D8 4699  
#define NOTE_DS8 4978  
#define REST 0
```

```
int tempo = 114;
int buzzer = 11;
int melody[] = {

NOTE_D5,-4, NOTE_E5,-4, NOTE_A4,4, //1
NOTE_E5,-4, NOTE_FS5,-4, NOTE_A5,16,
NOTE_G5,16, NOTE_FS5,8,
NOTE_D5,-4, NOTE_E5,-4, NOTE_A4,2,
NOTE_A4,16, NOTE_A4,16, NOTE_B4,16,
NOTE_D5,8, NOTE_D5,16,
NOTE_D5,-4, NOTE_E5,-4, NOTE_A4,4,
NOTE_E5,-4, NOTE_FS5,-4, NOTE_A5,16,
NOTE_G5,16, NOTE_FS5,8,
NOTE_D5,-4, NOTE_E5,-4, NOTE_A4,2,
NOTE_A4,16, NOTE_A4,16, NOTE_B4,16,
NOTE_D5,8, NOTE_D5,16,
REST,4, NOTE_B4,8, NOTE_CS5,8,
NOTE_D5,8, NOTE_D5,8, NOTE_E5,8,
NOTE_CS5,-8,
NOTE_B4,16, NOTE_A4,2, REST,4,

REST,8, NOTE_B4,8, NOTE_B4,8,
NOTE_CS5,8, NOTE_D5,8, NOTE_B4,4,
NOTE_A4,8,
NOTE_A5,8, REST,8, NOTE_A5,8,
NOTE_E5,-4, REST,4,
NOTE_B4,8, NOTE_B4,8, NOTE_CS5,8,
NOTE_D5,8, NOTE_B4,8, NOTE_D5,8,
NOTE_E5,8, REST,8,
REST,8, NOTE_CS5,8, NOTE_B4,8,
NOTE_A4,-4, REST,4,
REST,8, NOTE_B4,8, NOTE_B4,8,
NOTE_CS5,8, NOTE_D5,8, NOTE_B4,8,
NOTE_A4,4,
NOTE_E5,8, NOTE_E5,8, NOTE_E5,8,
NOTE_FS5,8, NOTE_E5,4, REST,4,

NOTE_D5,2, NOTE_E5,8, NOTE_FS5,8,
NOTE_D5,8,
NOTE_E5,8, NOTE_E5,8, NOTE_E5,8,
NOTE_FS5,8, NOTE_E5,4, NOTE_A4,4,
REST,2, NOTE_B4,8, NOTE_CS5,8,
NOTE_D5,8, NOTE_B4,8,
REST,8, NOTE_E5,8, NOTE_FS5,8,
NOTE_E5,-4, NOTE_A4,16, NOTE_B4,16,
NOTE_D5,16, NOTE_B4,16,
NOTE_FS5,-8, NOTE_FS5,-8, NOTE_E5,-
4, NOTE_A4,16, NOTE_B4,16,
NOTE_D5,16, NOTE_B4,16,

NOTE_E5,-8, NOTE_E5,-8, NOTE_D5,-8,
NOTE_CS5,16, NOTE_B4,-8,
NOTE_A4,16, NOTE_B4,16, NOTE_D5,16,
NOTE_B4,16,
```

```
NOTE_D5,4, NOTE_E5,8, NOTE_CS5,-8,
NOTE_B4,16, NOTE_A4,8, NOTE_A4,8,
NOTE_A4,8,
NOTE_E5,4, NOTE_D5,2, NOTE_A4,16,
NOTE_B4,16, NOTE_D5,16, NOTE_B4,16,
NOTE_FS5,-8, NOTE_FS5,-8, NOTE_E5,-
4, NOTE_A4,16, NOTE_B4,16,
NOTE_D5,16, NOTE_B4,16,
NOTE_A5,4, NOTE_CS5,8, NOTE_D5,-8,
NOTE_CS5,16, NOTE_B4,8, NOTE_A4,16,
NOTE_B4,16, NOTE_D5,16, NOTE_B4,16,
```

3.2.3.3 Super Mario Bros

```
#include <pitch.h>
```

```
#define se 6
```

```
#define tr 4
```

```
#define co 3
```

```
#define SMbpm 150
```

```
int tonesA[] = {NOTE_E5,
NOTE_E5,0,NOTE_E5,0, NOTE_C5,
NOTE_E5,0, NOTE_G5,0,0,
NOTE_G4,0,0};
int tonesB[] = {NOTE_C5,0,0,
NOTE_G4,0,NOTE_E4,0,0,NOTE_A4,0,
NOTE_B4,0,NOTE_AS4,
NOTE_A4,0,NOTE_G4,NOTE_E5,NOTE_G
5,NOTE_A5,0,NOTE_F5,NOTE_G5,0,NOT
E_E5,0,NOTE_C5,NOTE_D5,NOTE_B4,0};
int tonesC[] =
{NOTE_C3,0,NOTE_G5,NOTE_FS5,NOTE
_F5,NOTE_DS5,NOTE_C4,NOTE_E5,NOT
E_F3,NOTE_GS4,NOTE_A4,NOTE_C5,NO
TE_C4,NOTE_A4,NOTE_C5,NOTE_D5};
int tonesD[] =
{NOTE_C3,0,NOTE_G5,NOTE_FS5,NOTE
_F5,NOTE_DS5,NOTE_G3,NOTE_E5,0,N
OTE_C6,0,NOTE_C6,NOTE_C6,0,NOTE_
G3,0};
int tonesE[] =
{NOTE_C3,0,NOTE_DS5,0,0,NOTE_D5,0,
NOTE_C5,0,0,NOTE_G3,NOTE_G3,0,NOT
E_C3,0};
int tonesF[] =
{NOTE_C5,NOTE_C5,0,NOTE_C5,0,NOTE
_C5,NOTE_D5,0,NOTE_E5,NOTE_C5,0,N
OTE_A4,NOTE_G4,0,NOTE_G2,0};
int tonesG[] =
{NOTE_C5,NOTE_C5,0,NOTE_C5,0,NOTE
_C5,NOTE_D5,NOTE_E5,NOTE_F3,0,0,N
OTE_C3,0,NOTE_G2,0};
int tonesH[] =
```

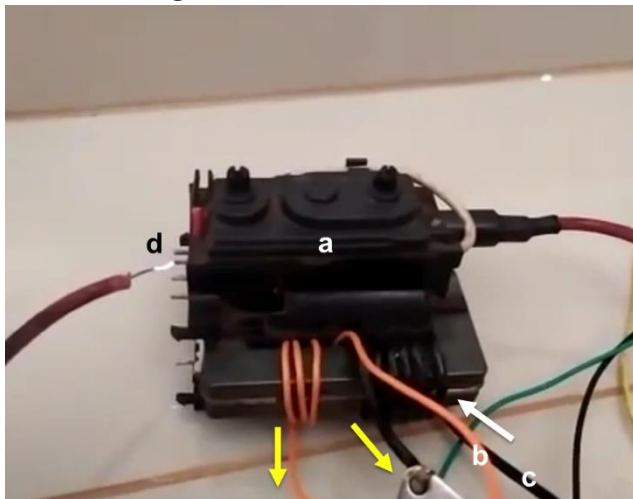


```
if(melody[i]=='i')  
play(tonesI, durationI, numberI, SMbpm);  
if(melody[i]=='j')  
play(tonesJ, durationJ, numberJ, SMbpm);  
if(melody[i]=='k')  
play(tonesK, durationK, numberK, SMbpm);  
}  
}  
  
void setup() {  
playall(melody,melodynum);  
}  
  
void loop() {  
}
```

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta a bobina de Tesla musical montada conforme as especificações mostradas no esquema elétrico da Figura 2. Os comandos enviados (algoritmos das notas musicais) pela plataforma de prototipagem resultaram, respectivamente, nas sinfonias das músicas Marcha Imperial (<https://www.youtube.com/watch?v=McQojRNR1S8>), Never Gonna Give You Up (<https://www.youtube.com/watch?v=ok3LnqQh1ho>) e Super Mario Bros (<https://www.youtube.com/watch?v=cr15CUldCDw>).

Figura 3. Bobina de Tesla musical montada conforme as especificações mostradas no esquema elétrico da Figura 2. O arco elétrico obtido está mostrado pela letra d.



- a – flyback
- b – bobina primária (vermelhas, 3 voltas)
- c – bobina secundária (preta, 5 voltas)
- flecha branca – entrada do fluxo elétrico
- flechas amarelas – saída do fluxo elétrico
- d – arco elétrico

Fonte: Elaborado pelos autores.

5 CONCLUSÕES

A metodologia apresentada representa uma das mais fascinantes descobertas de Nikola Tesla, a quebra da rigidez dielétrica do ar, com a execução de um circuito ressonante, capaz de quebrar a resistência do ar, além da transmissão de energia pelo ar através da ionização de gases e criação de relâmpagos artificiais.

O controle da potência de ionização por meio de programação da plataforma de prototipagem possibilita a geração de diferentes intensidades de frequência de carga e produção de toda a

escala musical. É possível importar bibliotecas de compilação com as frequências de cada nota já definida, porém optou-se por defini-las manualmente pelo desenvolvimento das variáveis.

Em outras palavras, a bobina de Tesla musical é uma fascinante variação da icônica da invenção de Nikola Tesla, a bobina de Tesla tradicional. Essa versão modificada combina a maravilha da eletricidade com a arte da música ao produzir um espetáculo audiovisual único.

REFERÊNCIAS

ARDUINO STORE. Disponível em:

<<https://store.arduino.cc/>>. Acesso em: 03 abr. 2021.

BOBINA DE TESLA - COMO FAZER. Disponível em: <<https://athoselectronics.com/como-fazer-uma-bobina-de-tesla/>>. Acesso em: 03 abr. 2021.

FERRO DE SOLDA: CIRCUITO E FUNCIONAMENTO. Disponível em: <<https://www.foxlux.com.br/blog/foxlux-2/ferro-de-soldar/>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

FLYBACK. Disponível em: <<https://newtoncbraga.com.br/index.php/eletro-nica/52-artigos-diversos/7252-trabalhando-com-fly-backs-art885>>. Acesso em: 17 abr. 2021.

FONTE DE ALIMENTAÇÃO. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fonte_de_alimenta%C3%A7%C3%A3o#:~:text=Uma%20fonte%20de%20alimenta%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9,prover%20energia%20para%20a%20seus%20componentes>. Acesso em: 28 abr. 2021.

INBRAEP RESISTÊNCIA ELÉTRICA. Disponível em: <<https://inbraep.com.br/publicacoes/resistencia-eletrica/>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

MATTEDE, H. Bobina de tesla – o que é e como funciona. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/bobina-de-tesla-o-que-e-como-funciona/>>. Acesso em: 04 abr. 2021.

O QUE É ARDUINO. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 22 out. 2021.

O QUE É BOBINA. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20160515062618/http://el>

ektron.no.sapo.pt:80/oqueuebo-bina1.htm>. Acesso em: 17 abr. 2021.

O QUE É FONTE DE ALIMENTAÇÃO. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/ha3/haa/WEG-fontes-de-alimentacao-50058708-catalogo-portugues-brdc.pdf>>. Acessado em: 18 out. 2021.

O QUE É RESISTÊNCIA ELÉTRICA, Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-resistencia-eletrica.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

O QUE É RIGIDEZ DIELÉTRICA. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-rigidez-dieletrica.htm#:~:text=O%20ar%20atmosf%C3%A9rico%20%C3%A9%20um%20ar%20um%20meio%20condutor.&text=%C3%89%20nesse%20processo%20que%20ocorre%20a%20emiss%C3%A3o%20de%20luz%20conhecida%20como%20rel%C3%A2mpago>>. Acesso em: 21 mar. 2021

O QUE É UM FLYBACK. Disponível em: <<https://qastack.com.br/electronics/235991/what-is-a-flyback>>. Acesso em: 17 abr. 2021.

O TRANSFORMADOR FLYBACK ELÉTRONICA 90. Disponível em: <<http://eletronica90.blogspot.com/2014/08/o-transformador-fly-back.html>>. Acesso em: 17 abr. 2021.

TOCANDO NOTAS MUSICAIS COM O ARDUINO. Disponível em: <<http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/arduino/tocando-notas-musicais-com-o-arduino/>>. Acesso em: 03 abr. 2021.

TRANSISTOR PARA PRINCIPIANTES. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/07/transistores-para-principiantes.html>>.

Acesso em: 28 abr. 2021.

TRANSISTOR: O QUE É, FUNÇÃO,
ONDE É USADO, ORIGEM. Disponível

em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/transistor.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2021.