



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

RAPHAEL AZEVEDO PALMER

SABRE DE LUZ

Orientadora: Prof^a. Maria Marony Sousa Farias

BRASÍLIA

2º SEMESTRE DE 2012

RAPHAEL AZEVEDO PALMER

SABRE DE LUZ

**Trabalho apresentado ao
Centro Universitário de Brasília
(UniCEUB) como pré-requisito para a
obtenção de Certificado de Conclusão de
Curso de Engenharia de Computação.
Orientadora:**

**Prof^a. Maria Marony Sousa
Farias.**

BRASÍLIA

2º SEMESTRE DE 2012

RAPHAEL AZEVEDO PALMER

SABRE DE LUZ

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação. Orientadora:

Prof^a. Maria Marony Sousa Farias.

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de Computação, e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS.

Prof. Abiezer Amarilia Fernandes

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a. Maria Marony Sousa Farias, mestre em Engenharia Elétrica – UFPB – PB
ORIENTADORA.

Prof^o. Fernando Chagas Santos.

Prof^o. Julimá Bezerra Junior, mestre em Engenharia Elétrica – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro - RJ.

Prof^o. Júlio Kunzler.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos amantes das séries de ficção científica e suas diversas réplicas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me ajudaram e me apoiaram neste projeto. Minha orientadora Maria Marony pelo apoio, sugestões e críticas durante todo o processo, minha namorada Ana Laura pela paciência, minha família pelo apoio e principalmente meus colegas de curso, Emerson Oliveira, José Carlos, Bruno Queiroz, Lucas Mesquita, Lucas Rehem, Caio de Bem, Jefferson Santos, Ana Gabriela, Flavio Lenzi, Diogo Dantas, por toda a ajuda e companheirismo, não só durante o projeto, mas durante todo o curso.

“Faça, ou não Faça. Não há Tentativas”.

Mestre Yoda.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	IV
AGRADECIMENTOS	V
LISTA DE FIGURAS.....	IX
RESUMO.....	X
ABSTRACT	XI
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Apresentação do Problema	1
1.2 – Visão Geral do Projeto	2
1.3 – Objetivos do Trabalho	3
1.4 – Justificativa e Importância do Trabalho	3
1.5 – Escopo do Trabalho.....	3
1.6 – Resultados Esperados	4
1.7 – Estrutura do Trabalho.....	5
CAPÍTULO 2 – APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	6
2.1 – Visões do Projeto	6
2.2 – Características dos sabres	7
2.2.1 – Laser	9
2.2.2 – Plasma	9
2.3 – Preços.....	10
CAPÍTULO 3 – REFERENCIAL TEÓRICO E TECNOLÓGICO.....	11
3.1 – Acelerômetros.....	11
3.2 – Microcontroladores.....	12
3.2.1 – A Família PIC.....	13
3.3 – LEDs	14
3.4 – Programação	15
CAPÍTULO 4 – ESTRUTURA DO SABRE	17
4.1 – O Cabo.....	17
4.2 – A Lâmina.....	18

4.3	– O Circuito.....	19
4.3.1	– Especificações e Implementação do Microcontrolador.....	22
4.3.2	– O LED.....	24
4.4	– Espaço Interno.....	26
4.5	– Funções.....	27
4.6	– Ajustes do Sensor.....	30
	CAPÍTULO 5 – RESULTADOS OBTIDOS.....	32
5.1	– Produto Final.....	32
5.2	– Resistência do Material.....	34
5.3	– Custos do Produto.....	35
5.4	– Problemas Encontrados.....	36
	CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
6.1	– Conclusão.....	37
6.2	– Propostas Para Trabalhos Futuros.....	37
	APÊNDICE 1 – Arduino WaveShield.....	38
	APÊNDICE 2 – Acelerômetro.....	41
	APÊNDICE 3 – Arduino WaveShield + Giroscópio.....	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Esquema do Circuito Interno [Autor].....	2
Figura 1.2 – Topologia do Cabo [Autor].....	4
Figura 2.1 – Outras Réplicas [Master Le, Movie Replicas, 2012].....	6
Figura 2.3 – Protótipo do Sabre Real [Tech News Daily, 2010].	8
Figura 2.4 – Sabre de Michio Kaku [Michio Kaku, 2010].	10
Figura 3.1 – Acelerômetro [Autor].....	11
Figura 3.2 – Diagrama ADXL327 [Analog Devices, 2009].....	12
Figura 3.3 – Diagrama de Blocos [Microchip, 2005].....	14
Figura 3.4 – Interior de um LED [HowStuffWorks, 2002].....	15
Figura 3.5 – Arquivos de Configuração [Autor].....	16
Figura 4.1 – Modelagem 3D do Cabo [Autor].	17
Figura 4.2 – Sabres de PVC [The Creative Side of The Force, 2012].	18
Figura 4.3 – Lâmina de Policarbonato [Autor].	19
Figura 4.3 – Placa Principal [Autor].	20
Figura 4.4 – Arduino Nano [RobotGear, 2012].	21
Figura 4.5 – Especificações [Microchip, 2009].	22
Figura 4.6 – Microcontrolador [Autor].	23
Figura 4.7 – LED Completo [Autor].....	24
Figura 4.8 – LuxDrive Endor Star [Autor].....	25
Figura 4.9 – Lente do LED [Autor].	25
Figura 4.10 – Espaço Interno [Autor].....	26
Figura 4.11 – Chassi de PVC [Autor].....	27
Figura 4.12 – Botões com LED [Autor].	28
Figura 4.13 – Arquivo de Configuração de LEDs [Autor].....	29
Figura 4.14 – Parâmetros de Configuração [Autor].	31
Figura 5.1 – Produto Final [Autor].....	32
Figura 5.2 – Detalhes do Produto Final [Autor].	33
Figura 5.3 – Sabre de Qualidade Inferior [Mercado Livre, 2012].	34
Figura 5.4 – Réplica Comercial [Hasbro, 2012].	35

RESUMO

Este trabalho apresenta uma réplica de um sabre de luz semelhante ao que é utilizado na saga “Guerra nas Estrelas”. O sabre é composto por um circuito interno integrado por um acelerômetro, um microcontrolador PIC24HJ64GP, uma estação para um cartão de memória, um *driver* de LED, capacitores, regulador de tensão e diversos transistores e resistores. Ele detecta variações de movimento do usuário e produz sons distintos através de um alto-falante. Um LED, também controlado pelo circuito, é acionado quando a placa é ligada e, através de um tubo de policarbonato, dá a impressão de uma “lâmina laser”. A base é um cabo de alumínio. O sabre de luz aqui desenvolvido, pode ser usado para decoração, coleção e, devido a resistência de seu material, até mesmo combates artísticos. O circuito e todos os componentes são cuidadosamente inseridos no cabo e carregados por duas baterias de lítio de 3.7V.

ABSTRACT

This Work features a lightsaber replica similar to the one used on the “Star Wars” saga. The saber, composed of an internal circuit Integrated by a microcontroller PIC24HJ64GP, SD Card Station, capacitors, LED Driver, tension regulators and a series of transistors and resistors, detects the user’s motion variation and produces distinct sounds through a speaker. A LED, also controlled by the circuit, is lighted when the board is on and, through a polycarbonate cylinder, gives the impression of a “laser blade”. The housing is an aluminium hilt. The lightsaber made here, can be used for decoration, collection and, due to the material durability, can even be used for artistic duels. The circuit and all its components are carefully assembled inside the hilt and powered by two lithium 3.7V batteries.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Apresentação do Problema

É inegável que a engenharia moderna tem um grande papel na indústria do entretenimento. Nos dias de hoje, não basta haver foco somente na resolução de problemas, é importante se preocupar com o dia-a-dia das pessoas, com a vida fora do trabalho e, claro, com o lazer.

O produto proposto nesse projeto é uma réplica de um sabre de luz, baseado na espada fictícia da franquia *Star Wars* de George Lucas. A franquia consiste em várias mídias, incluindo diversos livros, como *The Wrath of Darth Maul* (Ryder Windham, 2012) e *Secrets of The Jedi* (Jude Watson, 2005), jogos, como *Star Wars: The Old Republic* (BioWare, 2011) e *Star Wars: The Force Unleashed* (LucasArts, 2008), desenhos animados e seis filmes, como *Star Wars Episode IV: A New Hope* (George Lucas, 1977) e *Star Wars Episode III: Revenge of The Sith* (George Lucas, 2005). A estrutura do sabre consiste em um cabo de metal e uma lâmina de plasma de aproximadamente 1,3m que é acionada por botões presentes no cabo. Para simular a lâmina de plasma, será usado um cilindro de policarbonato e, na parte interna do cabo, estará presente um circuito que reproduzirá sons de acordo com a movimentação do usuário.

A série de George Lucas atrai milhões de fãs pelo mundo, fãs que muitas vezes pagam milhares de dólares para dispor de réplicas dos sabres usados nos filmes. Tais réplicas geralmente possuem complexos circuitos internos, circuitos que reagem ao movimento do usuário, produzindo sons e flashes de luz. Compostas por uma estrutura de alumínio e uma lâmina cilíndrica de policarbonato, essas réplicas podem resistir a golpes e são frequentemente usadas para simular combates e cenas dos filmes. Com uma base de fãs tão grande, não é surpresa que o mercado de réplicas de sabres de luz seja algo em constante expansão. Circuitos rústicos de brinquedos de má qualidade e pouco resistentes estão sendo rapidamente substituídos por componentes e placas novas e mais avançadas, porém de difícil acesso ao povo brasileiro.

1.2 – Visão Geral do Projeto

Réplicas de sabres de luz não são algo novo no mercado. Desde que os filmes de George Lucas foram lançados, vários protótipos começaram a aparecer pelo mundo e, com o avanço da tecnologia, tais produtos foram sendo aprimorados e estão cada vez mais reais. Infelizmente, sabres de boa qualidade não são baratos em nosso país, e importar réplicas prontas pode ser ainda mais caro.

Porém, com um bom conhecimento em circuitos elétricos e eletrônicos, é possível montar uma réplica de um sabre de luz. Dependendo da complexidade que se quer alcançar no sabre, é possível inclusive criar a própria placa central. Para exemplificar até onde a tecnologia destas réplicas evoluiu, foi adquirida uma placa pronta criada por um laboratório americano de componentes eletrônicos.

Utilizando-se dos componentes da placa, que é alimentada por duas baterias de lítio 900mAH 3.7V, é ligado um LED de alta potência, um alto-falante e um botão de *on/off*. Ao acionar o botão de *on*, o LED acende e um acelerômetro presente na placa detecta sinais de movimentação do sabre e os transmite para sensores de movimento e pressão, que por sua vez enviam o comando para que sons distintos sejam emitidos pelo alto-falante. Tudo isso é controlado por um microcontrolador. Essa estrutura é protegida por um cabo de alumínio, aonde é acoplado um cilindro de policarbonato, por onde a luz emitida pelo LED é contida para produzir a impressão de uma lâmina “laser”. A figura 1.1 esquematiza o circuito.

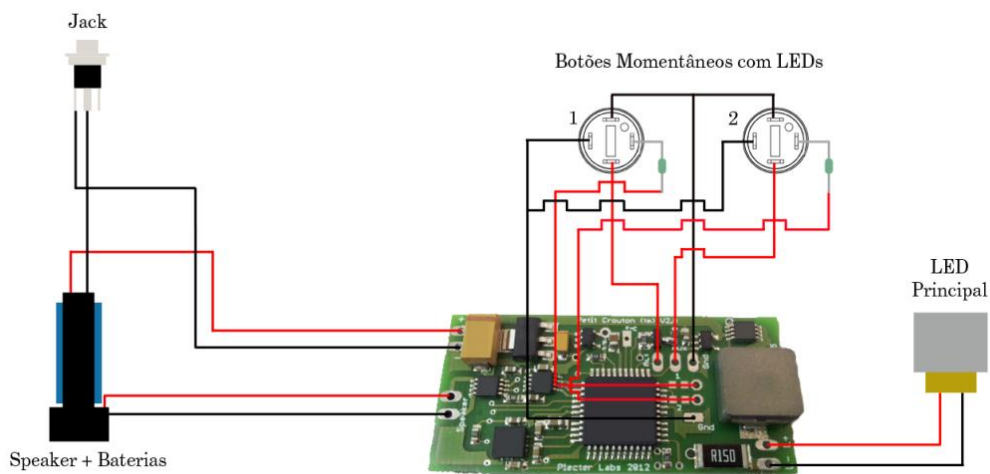


Figura 1.1 – Esquema do Circuito Interno [Autor].

1.3 – Objetivos do Trabalho

O objetivo deste projeto é mostrar como montar uma replica de um sabre de luz, com componentes que podem ser importados, comprados em território nacional ou até mesmo produzidos artesanalmente.

Será ilustrado passo a passo, desde a montagem do circuito interno, até o design final do sabre. O circuito precisa estar firme no interior do cabo, tendo em vista que o sabre precisa ser resistente e prático para ser usado como o usuário bem entender, seja para decoração ou para simular combates por entretenimento.

1.4 – Justificativa e Importância do Trabalho

Como citado nos tópicos anteriores, é importante lembrar a importância que a engenharia moderna possui no mercado do entretenimento.

No curso de Engenharia da Computação do UniCEUB, nunca houve um projeto focado na indústria do entretenimento. Têm-se algumas matérias estudadas que são relacionadas a este projeto. Dentre elas, estão: microcontroladores e microprocessadores, circuitos e máquinas elétricas e instalações elétricas.

1.5 – Escopo do Trabalho

O projeto utiliza uma placa com uma série de componentes eletrônicos. Dentre eles, há: um acelerômetro, circuitos que formam um driver de LED, reguladores de tensão, capacitores eletrolíticos de entrada e de saída, uma estação para um cartão de memória contendo códigos e arquivos de som, diversos transistores e resistores e, por fim, um microcontrolador PIC 24HJ64GP, que controla e redireciona todas as funções motoras captadas pelo acelerômetro. Quando os sensores são ativados pela movimentação/contato do usuário, o microcontrolador referencia esses impulsos aos arquivos guardados no cartão de memória. Cada movimento, ou contato, ativa um arquivo diferente, que por sua vez, produz um som diferente. Tais impulsos podem, se desejado, refletir na iluminação dos LEDs. É possível acionar funções extras por meio de um segundo botão que, dependendo do modo que for pressionado, produz sons diferentes.

Foi incluído também um mecanismo para que seja possível desligar a placa por completo. Utilizando um jack, “engana-se” o circuito para que pareça que ele esteja em modo de carga quando, na verdade, um plug de plástico fecha a corrente, mantendo a placa desligada. A figura 1.2 ilustra a topologia do projeto.

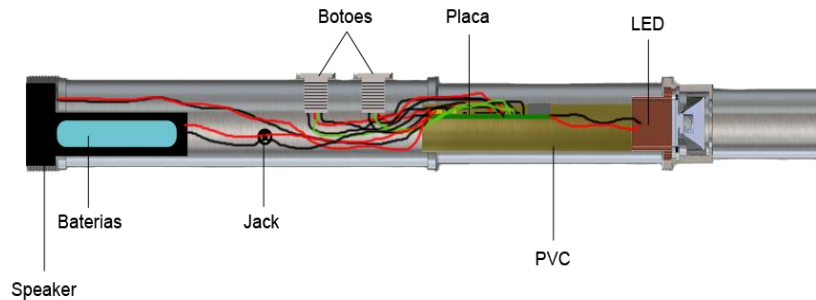


Figura 1.2 – Topologia do Cabo [Autor].

1.6 – Resultados Esperados

Captados pelo acelerômetro, as variações de movimento do usuário serão transferidas para o microcontrolador, que por sua vez as referencia com os arquivos guardados no cartão de memória. Tais arquivos estão também referenciados a parâmetros contidos em um bloco de texto. Cada parâmetro está ligado a um som diferente, que quando ativado, é emitido pelo alto-falante, encontrado na parte inferior do cabo. Esses sons são baseados nos mesmos sons utilizados nos filmes de George Lucas e simulam todo o tipo de interatividade que um sabre possui no filme, desde o som contínuo do sabre ligado, aos sons de movimento, contato e até mesmo deflexão de projéteis.

O LED, aceso assim que a placa é ligada, dá a impressão de uma “lâmina laser”, simulando assim o sabre completo. Devido à boa resistência do cilindro de policarbonato, é possível participar de duelos artísticos com o sabre, que também possui sensores de pressão, emitindo sons distintos quando entram em contato com outro objeto. Ambos os botões contidos no cabo também possuem LEDs, que serão acesos quando a placa estiver ligada e podem ter sua interatividade customizada mudando parâmetros nos arquivos de configuração da placa. A intensidade dos LEDs pode, inclusive, ser alterada entre 1 e 2 Amperes, por meio de parâmetros definidos nos arquivos de configuração.

1.7 – Estrutura do Trabalho

A monografia está estruturada da seguinte forma:

Capítulo 1: neste capítulo é apresentado um resumo e uma introdução ao projeto, também como seus objetivos e as justificativas para a sua realização. É ilustrado e explicado o que está incluído em seu escopo e o que é esperado de seus resultados finais.

Capítulo 2: nesse capítulo está descrito, de forma aprofundada, o cenário em que o projeto está incluído. É apresentado, em detalhes, soluções e tecnologias existentes, impacto e utilidade na sociedade, dados de movimentações financeiras da indústria relacionada ao projeto e visões gerais do mesmo. Custos e valores financeiros gerais dos sabres também são discutidos neste capítulo.

Capítulo 3: tendo como foco o circuito principal, neste capítulo abordamos todo o referencial teórico e tecnológico. Apresentando, em detalhes, todos os dispositivos e componentes utilizados ao longo do projeto, necessários para a compreensão do desenvolvimento do mesmo, sendo eles eletrônicos ou não.

Capítulo 4: é o capítulo em que é demonstrado como todo o corpo do projeto foi desenvolvido. Aqui é mostrado como foi feita toda a estrutura do projeto, desde a prototipação, até a implementação e configuração do circuito utilizado, assim como uma explicação detalhada de alguns componentes do circuito principal, utilizados ao longo do projeto. Outros detalhes, como design do cabo, materiais extras utilizados, pinturas e modificações em geral, também são explicados aqui.

Capítulo 5: nesse capítulo é mostrado tudo o que foi alcançado pelos resultados obtidos ao longo da monografia, como figuras ilustrativas do protótipo, testes realizados sobre a solução e demonstrações em geral sobre o funcionamento do produto final.

Capítulo 6: é o capítulo em que é descrita a conclusão acerca do assunto tratado no projeto. Dificuldades encontradas e sugestões para trabalhos futuros em temas relacionados ao da monografia são detalhados aqui.

CAPÍTULO 2 – APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

2.1– Visões do Projeto

Desde seu primeiro filme, Star Wars Episode IV: A New Hope (George Lucas, 1977), a franquia de filmes de George Lucas gerou em torno de 4 bilhões de dólares. Brinquedos e réplicas de objetos da série existem há mais de 30 anos e são responsáveis por US\$12.107.000.000 do total. Incluindo livros, DVDs, Vídeo Games e outras licenças da série, soma-se um total aproximado de 30 bilhões de dólares que cresce continuamente (247WALLST, 2012; StatisticBrain, 2012; Forbes, 2010).

As réplicas dos sabres de luz entram na categoria de brinquedos e objetos licenciados da série e, como visto acima, são responsáveis por uma grande porção do lucro total da franquia. O sabre de luz é somente um exemplo de como brinquedos e réplicas movem uma grande parte do lucro na indústria do entretenimento. Vários filmes, seriados, jogos e até mesmo livros, já foram e continuarão sendo inspiração para a criação de tais réplicas, tendo geralmente como fim coleções de fãs ou exposições. Como ilustrado na figura 2.1, pode-se fazer réplica de quase tudo, por exemplo, o capacitor de fluxo do filme De Volta Para o Futuro (Robert Zemeckis, 1985), ou a armadura de Tony Stark do filme Homem de Ferro (John Fraveal, 2008).



Figura 2.1 – Outras Réplicas [Master Le, Movie Replicas, 2012].

2.2– Características dos sabres

A estrutura inteira do sabre se encontra basicamente dentro do cabo. Quando desligado, ele se assemelha a um cabo normal de espada, como ilustrado na figura 2.2.



Figura 2.2 – Cabo Desligado [Genesis Custom Sabers, 2011].

Apesar de possuir um sabre de luz ser o sonho de milhares de fãs, os sabres apresentados nos filmes de George Lucas são compostos por componentes fictícios, impossíveis de se conseguir com a tecnologia atual. Cientistas e estudiosos já tentaram estudar e recriar um sabre real em laboratório, mas todas as tentativas bateram de frente com limitações físicas ou tecnológicas.

O mais perto que se pode chegar de um sabre de luz real nos dias de hoje é construindo ou comprando uma réplica, como a proposta neste projeto, que simula todas as características do sabre apresentado nos filmes.

Como ilustrado na figura 2.3, fãs já criaram imagens que representam um sabre real, caso ele existisse.

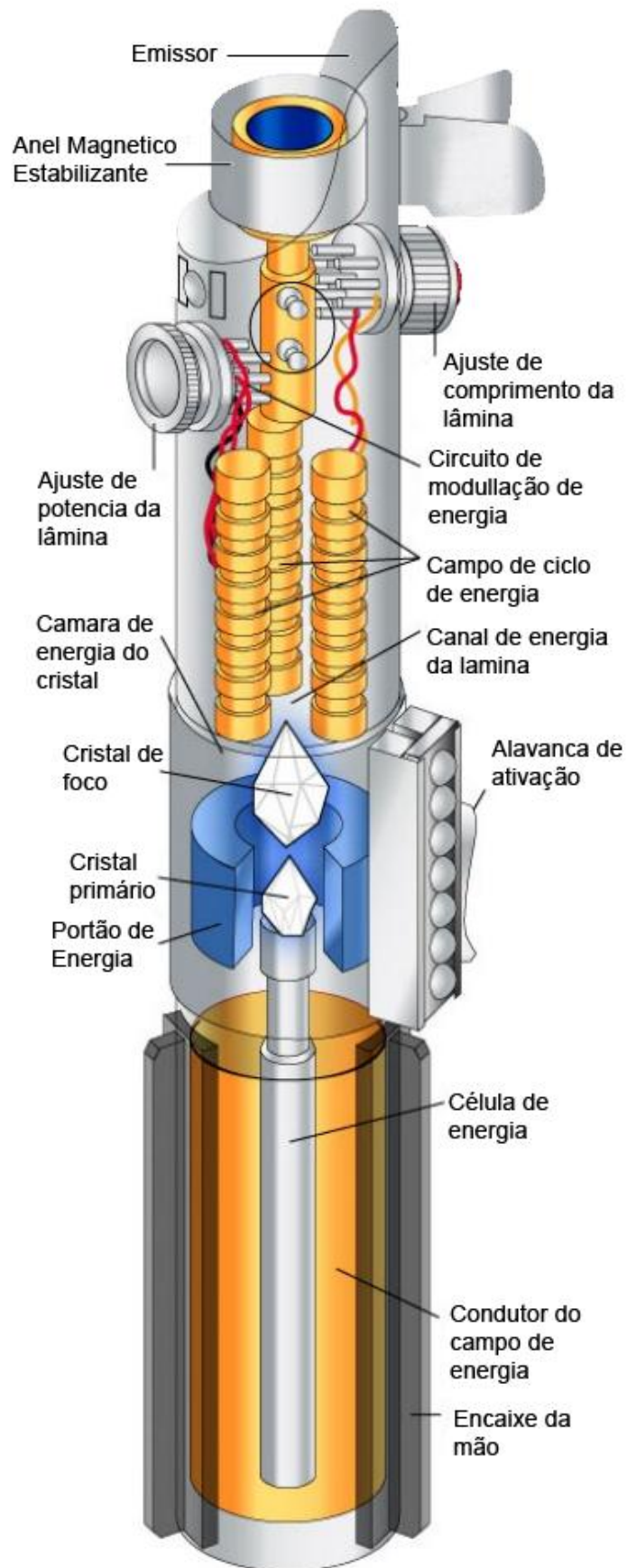


Figura 2.3 – Protótipo do Sabre Real [Tech News Daily, 2010].

2.2.1 – Laser

Apesar de especialistas defenderem que a lâmina do sabre de luz é feita de plasma, a escolha primaria para a criação de um sabre real tende a ser o laser. Este método apresenta vários problemas, sendo o maior deles o fato de que uma espada laser teria uma lâmina sem fim, visto que é impossível impedir que a luz seja contínua sem utilizar uma barreira física. O uso de laser implica também que não haveria contato com outra lâmina, devido o fato do laser não ser algo sólido, e o mesmo poderia ser facilmente refletido por um espelho, fazendo com que o sabre se tornasse bastante ineficiente. O famoso som emitido pelo sabre também seria motivo de preocupação, pois o laser não emite som algum, apesar de que uma placa de som com sensores similares aos usados neste projeto poderia ser utilizada. (Tech News Daily, 2010; Physics.org, 2010).

2.2.2 – Plasma

O uso de plasma também encontra algumas limitações. A energia para alimentar tal espada não caberia em um cabo pequeno e a temperatura da substância faria com que o material derretesse, além do que não há como conter plasma no formato de uma lâmina, visto que o mesmo não possui uma composição sólida. Devido à natureza do plasma, seria impraticável contê-lo dentro do cabo até a espada ser ativada. Uma alternativa explorada pelo cientista Michio Kaku em seu documentário How To Build A Lightsaber (Michio Kaku, 2010) era utilizar uma tocha de plasma, que seria contida por um cabo de titânio e projetada em um cilindro de cerâmica retrátil. A escolha do material foi devido ao fato de que cerâmica é altamente resistente a altas temperaturas, algo que seria constante devido ao uso de plasma.

Dentro do cabo, seria necessário nanobaterias para alimentar a tocha. O cilindro de cerâmica contaria com anéis magnéticos, com propósito de conter o plasma dentro do cilindro, possuindo apenas alguns furos ao longo do corpo para o plasma atravessar. Essa ideia em si já traz alguns problemas e foge bastante da ideia inicial do sabre de luz, como a necessidade de uma lâmina física, algo que não existe no sabre, e o fato de que nanobaterias ainda não existem no mercado.

Apesar das limitações, a ideia de Michio Kaku foi a mais próxima possível de um sabre de luz até hoje, apesar de ser extremamente difícil de virar realidade em algum futuro próximo. A figura 2.4 ilustra o conceito do sabre de Michio Kaku.

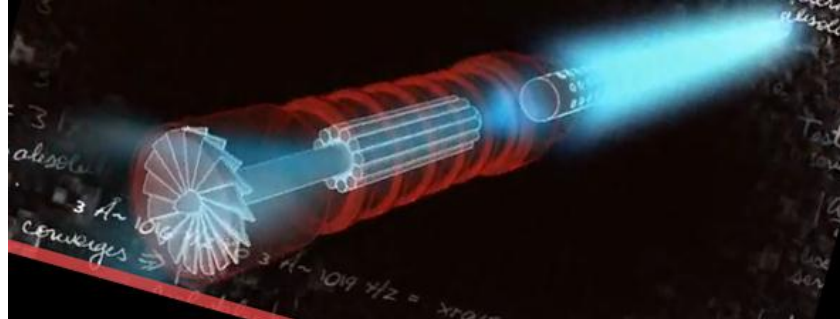


Figura 2.4 – Sabre de Michio Kaku [Michio Kaku, 2010].

2.3– Preços

Uma questão delicada no mundo das réplicas é o quesito preço. No Brasil, como todos os produtos importados, o valor das réplicas tende a ser bem elevado, fazendo com que o consumidor seja obrigado a comprar produtos de baixa qualidade, se não quiser gastar muito. Como a maioria das réplicas é fabricada nos Estados Unidos, é mais fácil encontrar sabres de alta qualidade e por preços mais baixos nesta região.

No Brasil, sabres de qualidade inferiores podem ser encontrados a partir de R\$100,00 e uma réplica de boa qualidade pode ultrapassar R\$1000,00, enquanto nos Estado Unidos, os mesmos produtos podem ser encontrados por menos de US\$300. (Shopbot, 2012; Mercado Livre, 2012; ThinkGeek, 2012; Amazon, 2012). Juntando o alto preço com a dificuldade de se encontrar boas réplicas a venda, torna-se complicado adquirir um produto de qualidade no Brasil.

É possível, no entanto, reduzir significativamente o custo se o sabre for produzido artesanalmente ao invés de adquirido comercialmente. O único componente que oferece grande dificuldade em ser criado é a placa de som, mas que pode ser adquirida individualmente por menos de US\$100 pela internet (Plecter Labs, 2012). Todos os outros componentes internos do sabre podem ser adquiridos em lojas de eletrônicos locais sem grandes dificuldades. Com certa prática e paciência, pode-se construir um sabre de ótima qualidade por menos de R\$300,00.

CAPÍTULO 3 – REFERENCIAL TEÓRICO E TECNOLÓGICO

3.1– Acelerômetros

O princípio de funcionamento de um acelerômetro parte das duas primeiras leis de Newton, “Todo corpo tende a permanecer em repouso até que alguma força externa aja sobre ele” e “Força é igual ao produto da massa pela sua aceleração”. Em outras palavras, ao medir a aceleração aplicada sobre um corpo, pode-se descobrir qual a força aplicada sobre ele. Um acelerômetro, portanto, nada mais é do que um instrumento capaz de calcular essa intensidade e, conseqüentemente, repassar a informação para o programa, no caso do sabre, para o microcontrolador. A partir desse momento uma ação é executada (Landim, Wikerson, 2010).

Neste projeto, é utilizado o ADXL327, um acelerômetro pequeno de três eixos, que requer pouca energia e possui voltagens de saída condicionadas para sinais. Ele mede a aceleração aplicada em um intervalo mínimo de escala de $\pm 2g$ e pode, inclusive, medir a aceleração estática da gravidade em aplicações com sensores de inclinação, também como a aceleração dinâmica, resultante de movimentação, contato ou vibração. A figura 3.1 ilustra o acelerômetro instalado na placa.

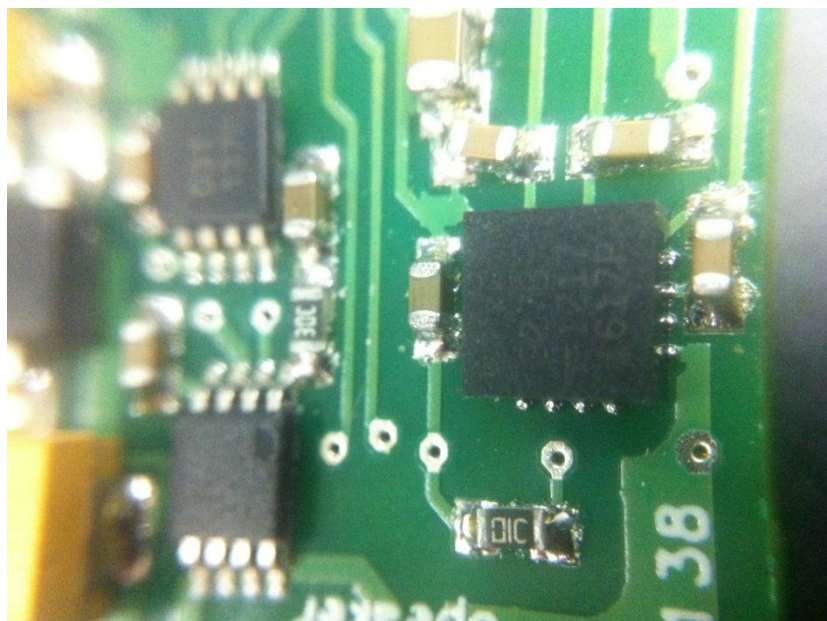


Figura 3.1 – Acelerômetro [Autor].

É possível alterar a largura de banda do ADXL327 a partir de seus capacitores e pinos. A figura 3.2 ilustra um diagrama da sua funcionalidade (Analog Devices Data Sheet, 2009).

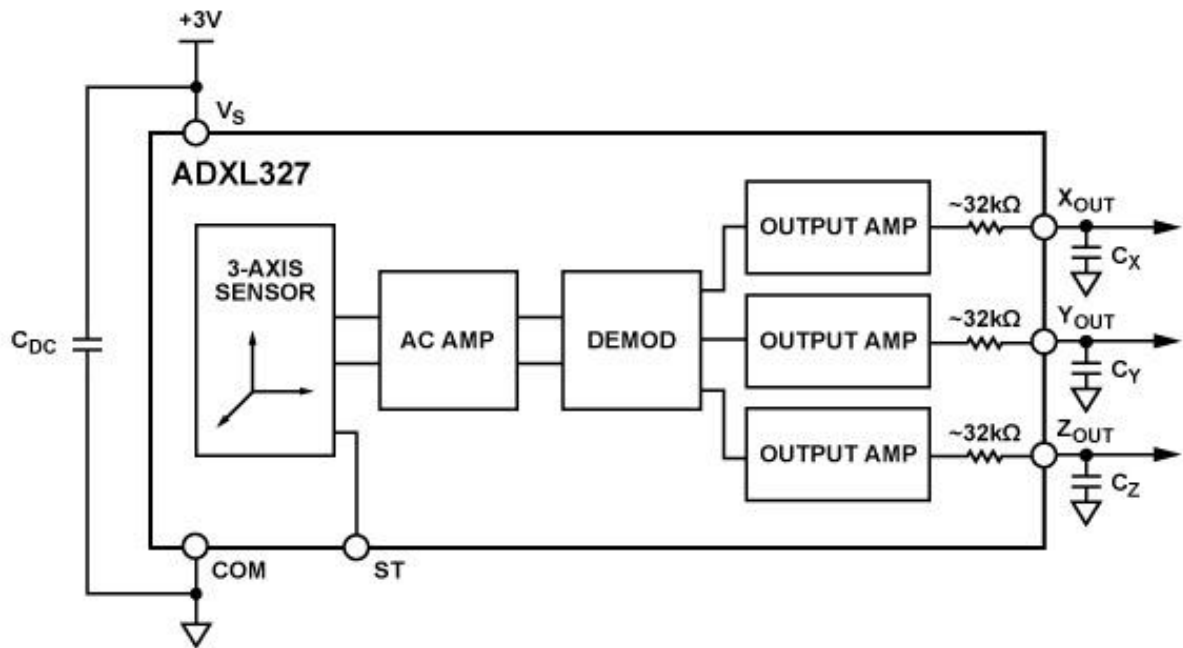


Figura 3.2 – Diagrama ADXL327 [Analog Devices, 2009].

3.2– Microcontroladores

Há um microcontrolador escondido por trás de praticamente todo programa atualmente. Se um forno de microondas tem um LED ou visor LCD e teclado, ele contém um microcontrolador. Controles remotos, celulares, impressoras, filmadoras e até todos os automóveis modernos contêm ao menos um microcontrolador. Basicamente, qualquer produto ou dispositivo que interaja com o usuário possui um microcontrolador interno.

Há algumas diferenças básicas entre microcontroladores e computadores normais, como capacidade, potência, custo, memória interna, dentre outros. O microcontrolador pode ser definido como um computador de propósito específico, ao contrário do computador de mesa comum, que é de propósito geral. Portanto, microcontroladores só são utilizados quando se tem definido o propósito do projeto. Por exemplo, o microcontrolador de uma TV obtém a entrada a partir do controle remoto e exibe a saída na tela da TV. O controlador controla o seletor de canais, o

sistema de alto-falantes e determinados ajustes nos componentes eletrônicos do tubo de imagem, como saturação e brilho (Brain, 2000).

3.2.1 – A Família PIC

Uma das maiores fabricantes de microcontroladores atualmente é a MICROCHIP TECHNOLOGY INC., mundialmente conhecida pelo design minimalista que utiliza em seus microcontroladores, resultando em circuitos extremamente pequenos e portáteis. Entre seus principais produtos, destaca-se o microcontrolador PIC® (Periferal Interface Controller), que possui uma boa diversidade de recursos, capacidades de processamento, custo e flexibilidade de aplicações. Os microcontroladores PIC são classificados em famílias, cada qual com uma característica relativa ao seu desempenho e funcionalidade. A família PIC10, por exemplo, com recursos mais limitados, é aplicada a funções de controle liga/desliga mais simples e de menor porte, possuindo custo baixo (abaixo de US\$ 1,00 por unidade) (Corteletti, 2006).

A placa utilizada neste projeto dispõe de um microcontrolador da família PIC24H, que possui microcontroladores de 16-bits. Os microcontroladores de 16-bits são uma ótima alternativa para circuitos de baixa potência, pois oferecem uma boa opção custo-benefício dos chips de 32-bits e ao mesmo tempo uma evolução significativa dos chips de 8-bits. O resultado é um funcionamento de CPU ideal para aplicações que requeiram alta velocidade, computação repetitiva e bom controle de ações.

A grande vantagem da família PIC é que todos os modelos possuem um set de instruções bem parecido, assim como também mantêm muitas semelhanças entre suas características básicas. A utilização de um modelo torna a migração para outros modelos muito mais simples. Para garantir grande capacidade de transferência de dados entre periféricos, os microcontroladores contam com uma memória RAM DMA (Direct Memory Access) dedicada. A figura 3.3 ilustra um diagrama de blocos de um microcontrolador da família PIC24H (Microchip, 2005).

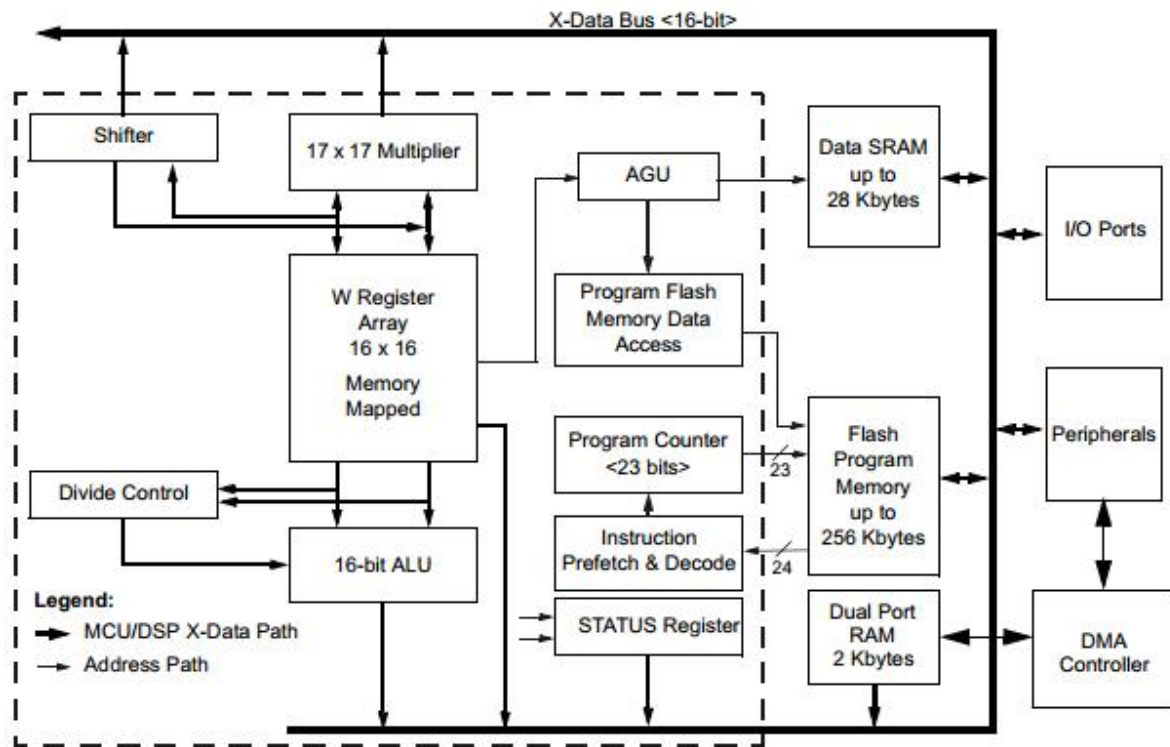


Figura 3.3 – Diagrama de Blocos [Microchip, 2005].

3.3– LEDS

Diodos emissores de luz, mais conhecidos como LEDs, podem exercer diversas funções e ser encontrados em todo o tipo de sistema, desde relógios e televisores a faróis de carro. Diferentes de lâmpadas comuns, os LEDs não possuem filamentos e não esquentam com tanta facilidade. Por serem iluminados somente pelo movimento de elétrons em um material semicondutor, eles tem uma vida útil tão extensa quanto a de um transistor comum.

O material condutor encontrado dentro do LED é normalmente arseneto de alumínio e gálio. No arseneto de alumínio e gálio puro, todos os átomos se ligam perfeitamente a seus vizinhos, sem deixar elétrons livres para conduzir corrente elétrica. No material, átomos adicionais alteram o equilíbrio, adicionando elétrons livres ou criando buracos onde os elétrons podem ir. Qualquer destas adições pode tornar o material um melhor condutor (Harris, 2002). A capacidade luminosa dos LEDs é medida pela unidade de medida Lúmen (lm). A figura 3.4 ilustra o interior de um LED.

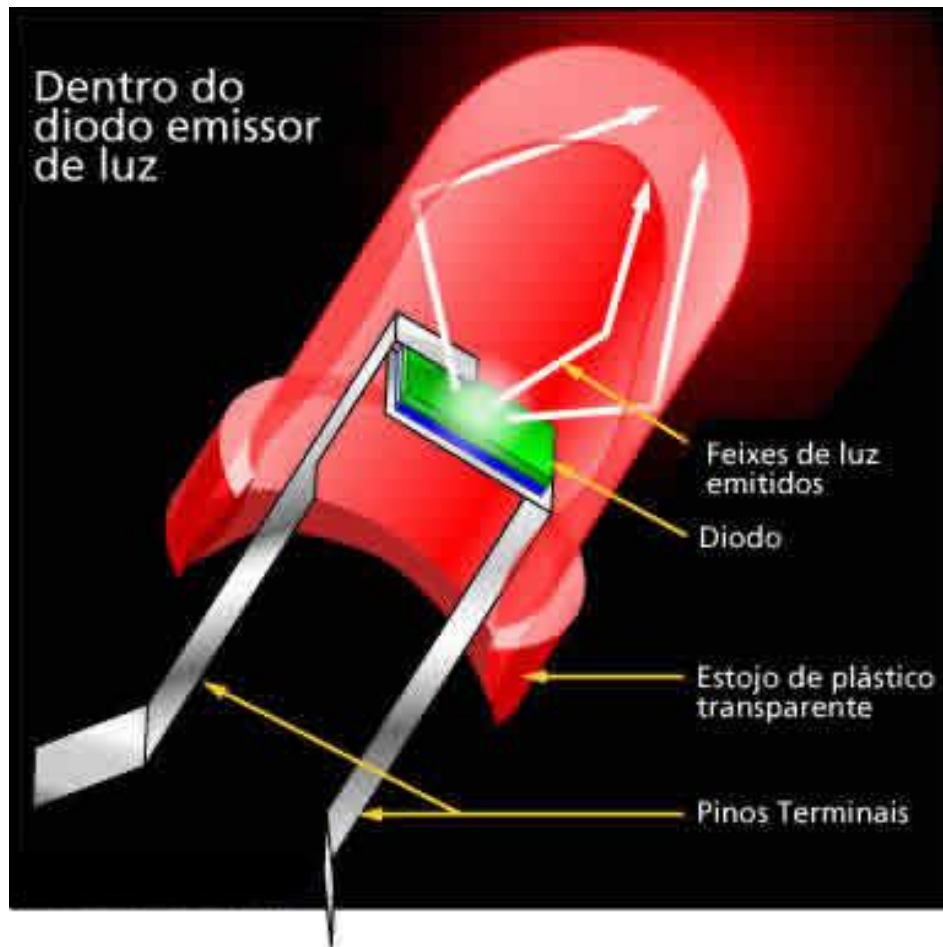


Figura 3.4 – Interior de um LED [HowStuffWorks, 2002]

3.4– Programação

Como a placa foi adquirida comercialmente, infelizmente não é possível ter acesso à programação do microcontrolador. Há, no entanto, arquivos de configuração contidos no cartão de memória, responsáveis por toda a programação de customização da placa, modificável de acordo com o gosto do usuário.

Esses arquivos são blocos de texto que guardam parâmetros de referência para arquivos de som encontrados também dentro do cartão de memória. Há dois blocos de texto, um para configurações como sensibilidade dos sensores, volume e intensidade do LED, e outro para ajustes dos tempos de reação dos sons/LEDs. A figura 3.5 ilustra o interior destes arquivos.

```

leds - Bloco de notas
d02=200
s03=11
d03=200
s04=00
d04=200
s05=01
d05=200
s06=10
d06=200
s07=11
d07=200
s08=00
d08=200
s09=01
d09=200
s10=10
d10=200
s11=11
d11=200
s12=00
d12=200
s13=01
d13=200
s14=10
d14=200
s15=11
d15=200
s16=00
d16=65535
s17=01
d17=200
s18=10
d18=200
s19=11
d19=200
s20=00
d20=200
s21=01
d21=200
s22=10
d22=200
d23=50
s23=11
d24=200
s24=00
d25=200
s25=01
d26=200
s26=10
d27=200
s27=11

config - Bloco de notas
//Arquivo de Configuracao
v01=4
led=1500
switch=2
idleled=0
lc=400
hs=220
ls=50
i=55
swing=200
clash=150
lockup=150
flks=3
flkd=20

```

Figura 3.5 – Arquivos de Configuração [Autor].

Como citado no capítulo 1, dependendo da complexidade desejada no circuito, é possível criar a própria placa central. Devido ao pequeno tamanho necessário, é extremamente difícil criá-la artesanalmente sem a ajuda de uma estação de trabalho ou equipamentos que podem exceder o próprio custo do sabre em preço. Portanto uma boa alternativa é utilizar placas da família Arduino. A linguagem de programação do Arduino é uma variação do Wiring, que é uma plataforma baseada no ambiente multimídia de programação Processing. Pode-se dizer que a linguagem é basicamente um conjunto de funções C/C++ (arduino.cc, 2010). No entanto, a lógica de programação para as funções desejadas tem que seguir um caminho comum, podendo ser facilmente reproduzida em outros sistemas. Para fins de exemplo, nos apêndices deste projeto se encontram três códigos para implementação em Arduino utilizando um Wave Shield para controle de áudio. Um código utiliza um giroscópio embutido no Arduino, o outro utiliza um acelerômetro em um circuito PIC. Tais códigos servem de exemplo para observar a variedade de plataformas que ambos podem atender, sofrendo poucas modificações.

O código do WaveShield é fornecido em sua página na internet e contém explicação detalhada sobre toda a sua utilização. Ambos os métodos, Acelerômetro PIC ou Giroscópio do Arduino, podem ser adaptados para as funções desejadas. Fica a critério do usuário, levando em conta custo e afins (LadyAda, 2011).

CAPÍTULO 4 – ESTRUTURA DO SABRE

4.1– O Cabo

Como mencionado previamente, o cabo é a parte que compõe todo o circuito, portanto sua importância é considerável. É nele que se inserem todos os componentes do circuito, faltando somente o cilindro de policarbonato que se encaixa na ponta do cabo.

O cabo utilizado neste projeto é composto por 30cm de alumínio, dividido em quatro sessões que se encaixam por meio de trilhos nas suas pontas. As partes de alumínio podem ser criadas de diversas maneiras a partir do gosto de cada usuário e podem, inclusive, ser feitas de qualquer outro material desejado. É possível, por exemplo, usar softwares de modelagem 3D e depois enviar o arquivo para companhias que imprimam as peças no material desejado, ou produzi-las com partes encontradas em lojas de ferragens e afins. Na figura 4.1, pode-se ver um exemplo de uma modelagem 3D do cabo utilizado neste projeto.

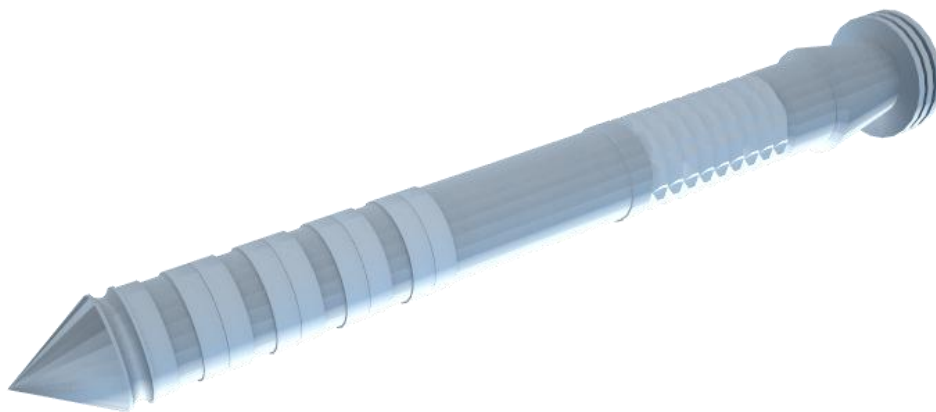


Figura 4.1 – Modelagem 3D do Cabo [Autor].

Se o objetivo for gastar pouco dinheiro, outros materiais podem ser utilizados para a composição do cabo, o mais comum é alumínio, por ser de fácil acesso e pela sua semelhança aos cabos do filme, mas é possível utilizar até mesmo canos de PVC para a estrutura do cabo. A figura 4.2 ilustra sabres feitos de PVC.



Figura 4.2 – Sabres de PVC [The Creative Side of The Force, 2012].

4.2– A Lâmina

O Policarbonato é um termoplástico de engenharia composto de uma resina resultante da reação entre derivados do Ácido Carbônico e o Bisfenol A. Possui características de transparência, beleza e alta resistência mecânica e vantagens como seu baixo peso, excelente isolamento termo-acústico e maior resistência ao fogo, que o tem tornado muito conhecido e utilizado em aplicações diversas. (Poliwork, 2012)

A lâmina utilizada no projeto é um cilindro oco feito de policarbonato, com um filme plástico em seu interior para evitar que a luz escape e o sabre perca brilho. No topo do cilindro, um pedaço de plástico espelhado em formato de meia esfera produz a mesma função do filme, evitar que a luz escape.

O policarbonato possui uma extraordinária resistência ao impacto, chapas compactadas são utilizadas juntamente com vidros laminados e são um dos meios mais avançados de segurança em envidraçamento (Poliwork, 2012). O tubo, apesar de menos resistente que chapas, é suficiente para aguentar os impactos que o sabre pode sofrer.

Produzido e comercializado em diversos formatos, tanto o tubo quanto o filme e a peça de plástico podem ser facilmente encontrados em lojas de materiais de construção e afins. A figura 4.3 ilustra a lâmina utilizada no projeto.



Figura 4.3 – Lâmina de Policarbonato [Autor].

4.3– O Circuito

A parte mais importante das réplicas de sabre de luz é o circuito interno e sua placa principal. Existem diversas formas de circuito interno, dependendo do objetivo e da qualidade do sabre. Os mais completos possuem uma placa de som como a utilizada neste circuito, que controla tanto a saída de som quanto as saídas de LED. Sabres mais baratos normalmente não possuem som e contém somente um *driver* de LED no interior. Como mencionado no capítulo de introdução, o objetivo deste projeto é mostrar até onde a tecnologia destas réplicas avançou. Portanto, foi escolhida uma placa completa, que controla tanto o som quanto a iluminação. A figura 4.3 ilustra a placa utilizada neste projeto.

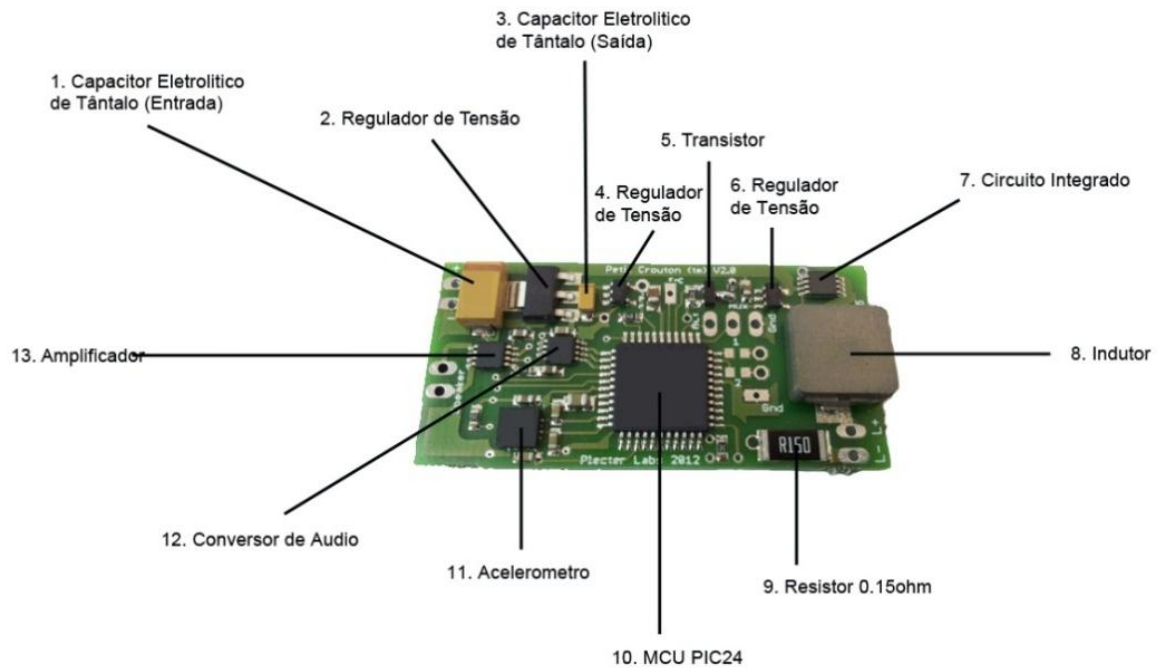
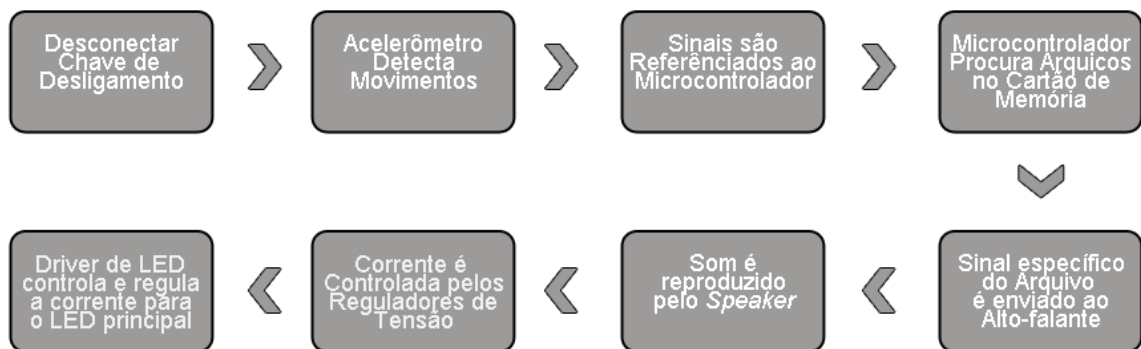


Figura 4.3 – Placa Principal [Autor].

O circuito mostrado na figura 4.4 funciona da seguinte forma: o capacitor eletrolítico número 1 é responsável por controlar a entrada de energia na placa, transmitida por duas baterias de lítio, somando um total de 7.4V, como visto na figura 1.1. Um jack atua como chave de desligamento, cortando a energia quando um plug for inserido. O regulador de tensão, 2, e o capacitor eletrolítico, 3, controlam a quantidade de energia necessária para alimentar a placa. Os componentes 6, 7, 8 e 9 fazem parte do driver de LED, responsáveis por controlar a energia necessária para alimentar o LED principal, também como aumentar ou diminuir a frequência do mesmo. O microcontrolador, 10, controla todas as funções da placa, como referenciar os sinais de movimento aos arquivos de som e refletir as instruções em seus respectivos componentes. O Acelerômetro, 11, é responsável pela captação de movimento, contato, pressão e todo tipo de interação que o usuário possa ter com o sabre. Os elementos 12 e 13 fazem parte da saída de som, sendo responsáveis pela conversão e amplificação do som. O amplificador funciona entre 4 e 8 ohm. A figura 4.4 ilustra um diagrama do circuito.



A placa é, sem dúvida, a parte mais cara e complexa do sabre e, devido ao seu pequeno tamanho, é muito difícil fazê-la artesanalmente. É possível, no entanto, utilizar alternativas, como placas programáveis encontradas facilmente no mercado brasileiro. A família Arduino é um ótimo exemplo, sendo uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre. O Arduino tem como objetivo criar ferramentas que são acessíveis, de baixo custo, flexíveis e fáceis de usar até por pessoas sem grandes conhecimentos em eletrônica. Para o uso em uma réplica de sabre, pode-se usar uma placa Arduino pequena em conjunto com um acelerômetro e um módulo de som, como o Adafruit Wave Shield, que é um módulo pequeno, barato e potente. Como previamente mencionado, no apêndice 1 desse projeto, pode-se encontrar um código fonte para implementação em um Arduino ou em qualquer outra plataforma ou placa desejada. A figura 4.4 ilustra o quão pequeno um Arduino pode ser.



Figura 4.4 – Arduino Nano [RobotGear, 2012].

4.3.1 – Especificações e Implementação do Microcontrolador

O microcontrolador utilizado no projeto é o modelo PIC24HJ64GP204, suas principais especificações são:

- Microcontrolador de 16-bits.
- 44 Pinos.
- 26 Pinos programáveis.
- Memória DMA de 8 canais.
- Ate 40 MIPS (Em 3.0 e 3.6V).
- 8 Kbytes de memória SRAM.
- 128 Kbytes de memória Flash.
- Regulador de Tensão de 2.5V.
- Sleep Mode.

A figura 3.5 ilustra uma tabela de especificações gerais do microcontrolador.

Aparelho	Pinos	Memória Flash (Kbytes)	RAM (Kbyte)	Periféricos Remapeáveis							Interruptores Externos	RTCC	I ² C™	CRC Generator	10-bit/12-bit ADC (Channels)	Analog Comparator (2 Channels/Voltage Regulator)	8-bit Parallel Master Port (Address Lines)	Pinos I/O	Pacotes
				Pinos Remapeáveis	16-bit Timer	Input Capture	Output Compare Standard PWM	UART	SPI	ECAN™									
PIC24HJ64GP204	44	64	8	26	5	4	4	2	2	0	3	1	1	1	13	1/1	11	35	QFN TQFP

Figura 4.5 – Especificações [Microchip, 2009].

No caso da placa utilizada no projeto, o microcontrolador é responsável pelo controle de diversas funções. É ele que referencia os impulsos captados pelo acelerômetro aos seus respectivos arquivos encontrados no cartão de memória. O código interno do microcontrolador possui as respectivas referências aos parâmetros incluídos nos arquivos de configuração, também encontrados no cartão de memória. O chip é capaz de fornecer voltagem o suficiente para alimentar os pequenos LEDs encontrados no circuito, como os dos botões de ativação ou outros eventuais que

podem ser inseridos para exercer outras funções, como verificar se a placa está ligada ou não, consultar nível de bateria e por ai em diante. Ele também cuida do sequenciamento dos LEDs e na regulagem de driver do LED principal.

A programação do microcontrolador é feita em linguagem C/C++ e a Microchip oferece uma forte proteção do código, para que não haja risco de cópias não autorizadas. Por esse motivo, se na construção do sabre for escolhido uma placa comercial, como a utilizada neste projeto, não será possível ter acesso ao código fonte. Porém, a ideia por trás da programação é a mesma, não importando em que sistema ela será implementada. Para fins de exemplo, no Apêndice 1 deste projeto, encontra-se um código fonte para aplicação em Arduino, sendo facilmente modificado para outros microcontroladores. A figura 3.6 ilustra o microcontrolador instalado na placa.

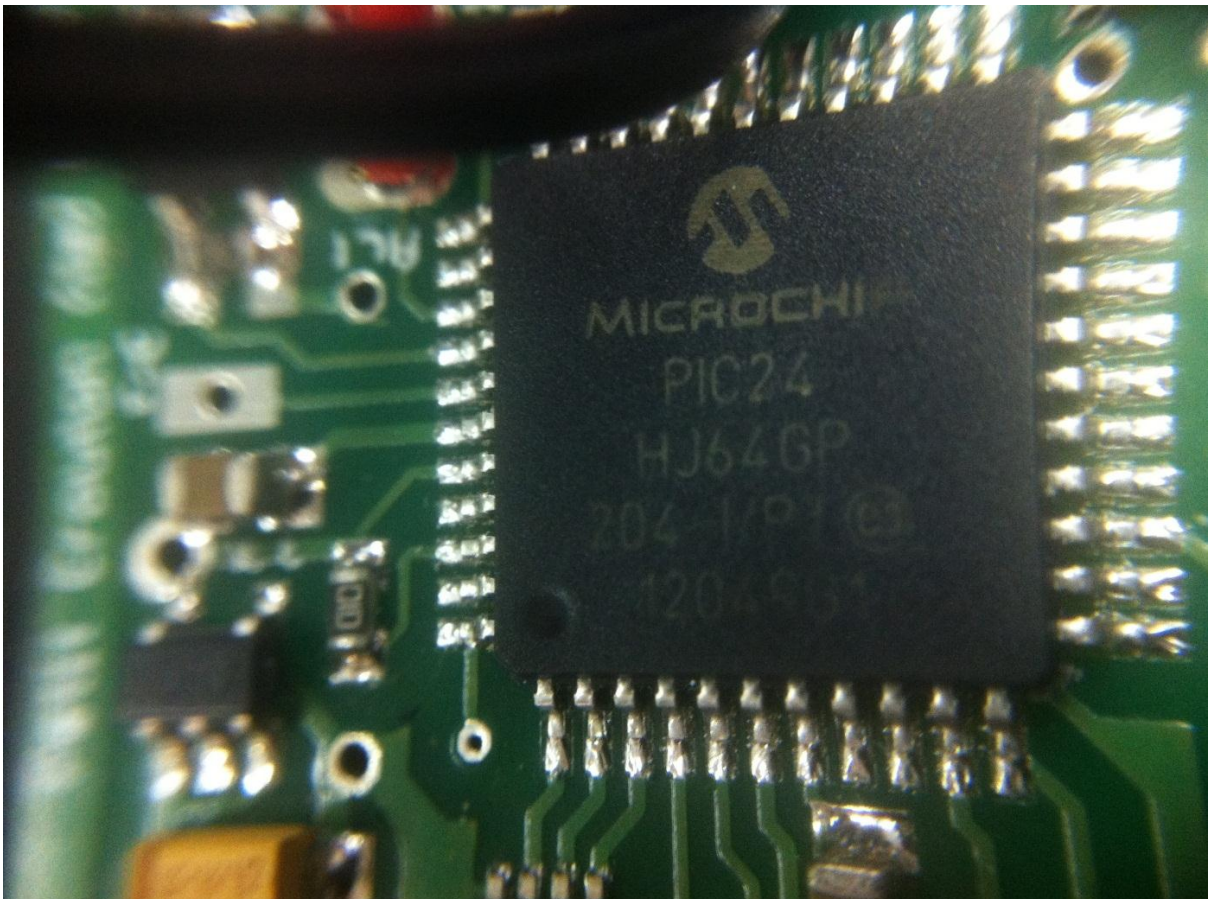


Figura 4.6 – Microcontrolador [Autor].

4.3.2 – O LED

O LED principal, utilizado para simular a luz da lâmina, precisa ser de alta intensidade, é recomendado uma voltagem de pelo menos 2V e uma corrente de 700mA, dependendo do LED.

O LED utilizado no projeto foi utilizado o LED Endor Star da empresa LuxDrive. É um LED de cor vermelha de 2.3V que produz 85lm utilizando uma corrente de aproximadamente 700mA. Ele pode ser comprado no site da própria LuxDrive por menos de US\$10,00 e seu pequeno tamanho o torna ideal para projetos que sofram com espaço limitado. Não existe nenhum padrão e outros LEDs de alto brilho podem ser utilizados, depende da preferência do criador. Para ser encaixado no cabo, foi adaptada uma simples peça de alumínio com dimensões equivalentes a parte interior do corpo, como ilustrado na figura 4.7.



Figura 4.7 – LED Completo [Autor].

Um módulo de transferência de calor feito de cobre, que tem como propósito dissipar o calor para o cabo de alumínio, evitando danificar o LED ou circuitos adjacentes. A figura 4.8 ilustra o LED acoplado ao módulo de transferência de calor (LuxDrive, 2010).

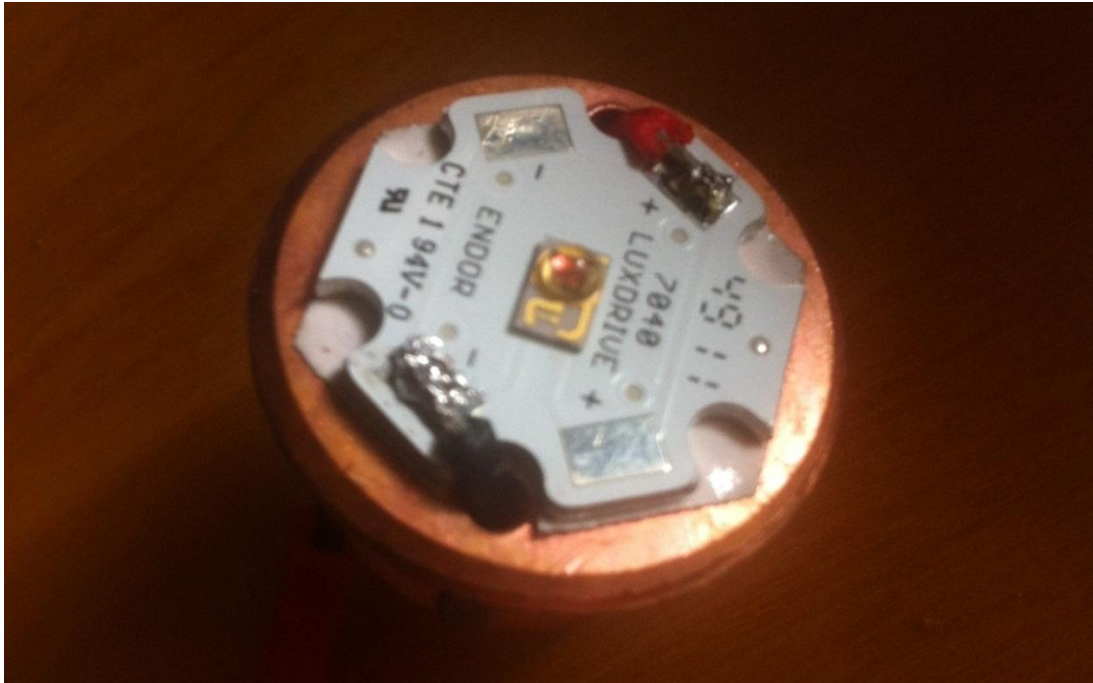


Figura 4.8 – LuxDrive Endor Star [Autor].

Para emitir a luz ao longo do tubo de policarbonato, pode-se contar com o auxílio de uma lente, que ajuda a focar a luz em linha reta, tornando o sistema mais eficiente. Tais lentes podem ser encontradas com facilidade em lojas de eletrônicos ou na internet. A figura 4.9 ilustra a lente utilizada no projeto.



Figura 4.9 – Lente do LED [Autor].

4.4– Espaço Interno

O maior desafio do projeto é o espaço limitado para o circuito. Além de precisar caber no interior do cabo de alumínio, é necessário que as peças estejam seguras e protegidas, pois o sabre estará em constante movimento e pode sofrer choques quando usado em duelos e demonstrações artísticas. Na figura 4.10, pode-se observar o desafio da limitação de espaço.



Figura 4.10 – Espaço Interno [Autor].

Para o circuito ficar seguro e protegido no interior do cabo, foi necessária a criação de um chassi. Desta forma, um tubo de PVC, com alguns cortes e modificações, foi inserido no interior do cabo de alumínio, servindo de proteção para a placa e não impedindo que ela se mova livremente dentro do cabo. O chassi de PVC é ilustrado na figura 4.11.



Figura 4.11 – Chassi de PVC [Autor].

Outro fator de importância é a ordem de inserção dos componentes. Devido ao tamanho dos botões e comprimento dos fios, é preciso planejar com cuidado qual componente será inserido primeiro, também como sua ordem de retirada. O sistema de alto-falante precisa estar na parte inferior do cabo, pois precisa ser facilmente alcançado, caso se torne necessário trocar as baterias, e é também onde existem orifícios no alumínio para auxiliar na saída de som.

4.5– Funções

Os sons utilizados são de critério pessoal e foram gravados a partir de diversas fontes pela internet, desde vídeos e cenas de filmes a arquivos prontos. Não existe nenhum padrão, mas para ficar o mais próximo possível do sabre apresentado nos filmes, algumas funções tem papel essencial. São elas:

- Som quando o sabre for ligado, imita o sabre sendo ligado. No cartão de memória tem o nome de **poweron.wav**. Este som é ativado assim que o botão principal do sabre é pressionado pela primeira vez.
- Som zumbido contínuo, imita o sabre ligado, sem movimento. No cartão de memória tem o nome de **hum.wav**. Assim que o botão principal da placa é pressionado, este som é ativado e permanece ligado até o botão principal ser ativado novamente, desligando o sabre.
- Som quando o sabre é desligado, imita o sabre sendo desligado. No cartão de memória tem o nome de **poweroff.wav**. Este som é

ativado assim que o botão principal do sabre é pressionado pela segunda vez.

- Sons quando o sabre entra em contato com outro, imitam sons de combate entre sabres. No cartão de memória tem o nome entre **clash1.wav** até **clash8.wav**. Estes sons são detectados pelo sensor de pressão do acelerômetro e são ativados assim que o sabre entrar em contato com algo.
- Sons quando o sabre está em movimento, imitam o sabre ligado, em movimento, mas sem contato. No cartão de memória tem o nome entre **swing1.wav** e **swing8.wav**. Estes sons são detectados pelo acelerômetro e são ativados assim que houver variação de movimento.
- Sons quando o sabre reflete projéteis, imitam deflexões de tiros que ocorrem com frequência nos filmes. No cartão de memória tem o nome entre **blaster1.wav** e **blaster4.wav**. Estes sons são ativados pressionando e soltando o segundo do sabre.
- Som quando o sabre fica em contato permanente com outro, imita o som de dois sabres se encontrando e permanecendo juntos. No cartão de memória tem o nome de **lockup.wav**. Este som é ativado quando se mantém pressionado o segundo botão do sabre.

Existem duas entradas para outros LEDs de potência mais baixa que o principal na placa. A corrente para alimentar esses LEDs é direcionada pelo próprio microcontrolador e eles podem tanto fazer parte dos botões, quanto ficar separados. No caso do projeto, os dois botões possuem LEDs próprios, como ilustrado na figura 4.12. Para ligar tais LEDs, é necessário o uso de um resistor apropriado.



Figura 4.12 – Botões com LED [Autor].

Os LEDs auxiliares da placa possuem um arquivo de configuração próprio, chamado **leds**, no cartão de memória. Esse arquivo contém parâmetros para controlar o sequenciamento dos LEDs, que podem variar de acordo com a vontade do usuário. O bloco de texto é composto por um loop de valores de atraso, permitindo criar diversas sequências diferentes. O loop só para quando é encontrado um valor **0** no arquivo. A figura 4.13 ilustra o arquivo de configuração dos LEDs.

```

Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
d02=200
s03=11
d03=200
s04=00
d04=200
s05=01
d05=200
s06=10
d06=200
s07=11
d07=200
s08=00
d08=200
s09=01
d09=200
s10=10
d10=200
s11=11
d11=200
s12=00
d12=200
s13=01
d13=200
s14=10
d14=200
s15=11
d15=200
s16=00
d16=65535
s17=01
d17=200
s18=10
d18=200
s19=11
d19=200
s20=00
d20=200
s21=01
d21=200
s22=10
d22=200
d23=50
s23=11
d24=200
s24=00
d25=200
s25=01
d26=200
s26=10
d27=200
s27=11

```

Figura 4.13 – Arquivo de Configuração de LEDs [Autor].

É possível inserir diversas funções ao circuito do sabre e é uma prática constante dos produtores de réplicas sempre tentar chegar o mais perto possível do produto original. Vale a pena lembrar que o sabre nunca é totalmente desligado, ao menos que se insira de volta o plug.

Depois de certo tempo de inatividade, a placa entrará em modo *Sleep*, mas continuará consumindo energia. Como visto nesse tópico, é possível programar os LEDs para alertar quando o modo Sleep estiver ativado.

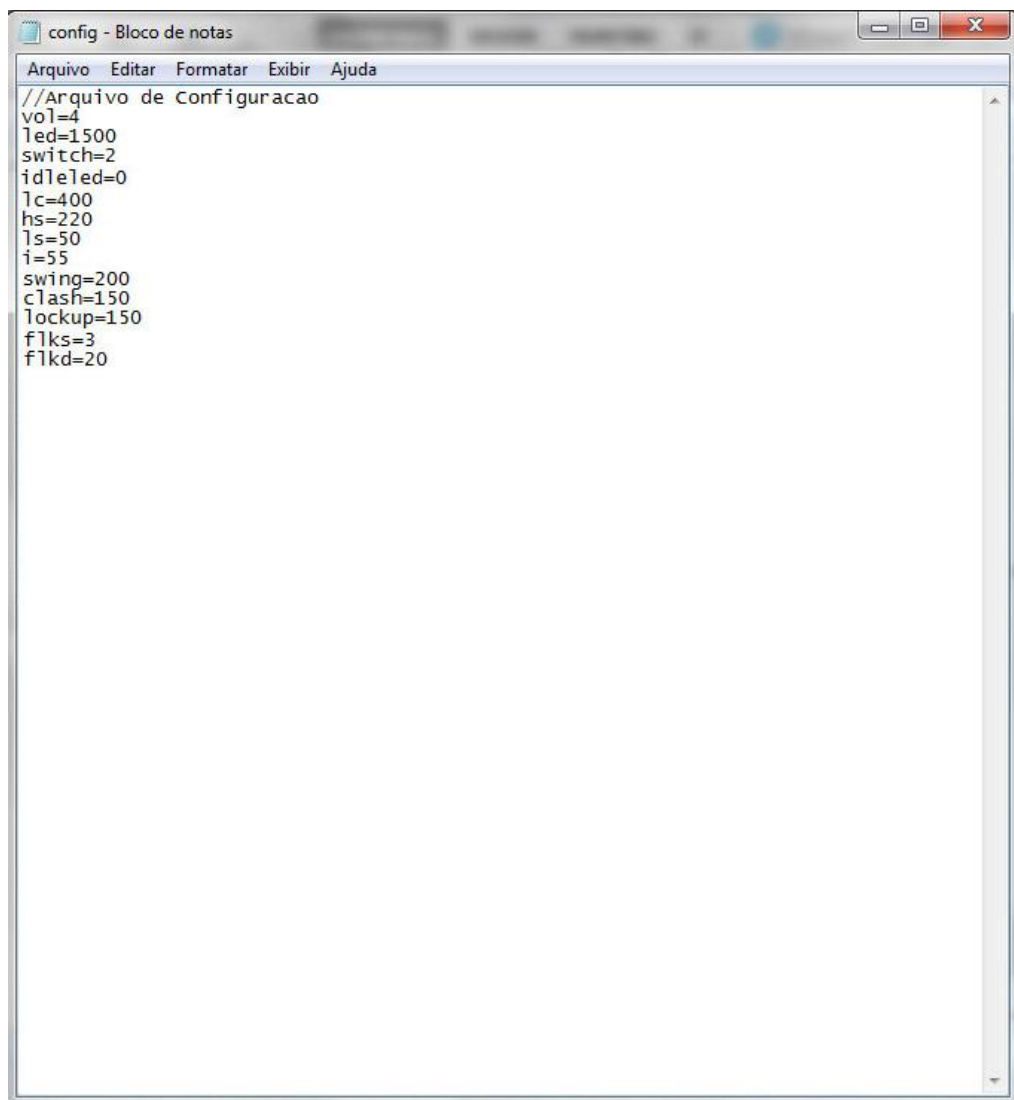
4.6– Ajustes do Sensor

É importante levar em consideração algumas variáveis que podem impactar nos ajustes do sensor. O centro de gravidade do cabo é uma das mais importantes. Planejar o espaço interno do cabo é algo que deve ser feito antes de se começar a construir o produto, pois dependendo de onde a placa se encontra, é necessário ajustar a sensibilidade do sensor. Por exemplo, se a placa estiver localizada perto de onde a mão do usuário se encontra, ela estará em cima do centro de giro, ou seja, não irá detectar bem os movimentos, quanto mais distante do centro de gravidade, melhor.

É recomendado distribuir o peso interno do cabo igualmente, mas devido a uma questão de espaço, o sabre proposto neste projeto teve de sofrer ajustes no posicionamento dos componentes internos, fazendo com que a placa fosse posicionada na parte superior, ao invés da inferior. A partir dessa mudança, a sensibilidade do sensor teve de sofrer ajustes. Para ajustar a sensibilidade geral, deve-se modificar o parâmetro **i** no arquivo de configuração **config** encontrado no cartão de memória. Quanto maior o valor, mais sensível é a captação do acelerômetro. O valor médio é 55, mas pode variar de acordo com a vontade do usuário.

Outros ajustes gerais podem ser feitos neste arquivo, como volume do amplificador de áudio, algumas configurações dos botões e sensibilidade específica do sensor de pressão ou de movimento. O controle da sensibilidade de pressão é feito pelos parâmetros **clash**, **hc (high clash)** e **lc (low clash)**, o valor de **clash** varia entre **0-500** e deve ser maior que o valor de **lc**. Já a sensibilidade de movimentação é controlada pelos parâmetros **swing**, **hs (high swing)** e **ls (low swing)**, o valor de **swing**, também varia entre **0-500** e deve ficar entre os valores de **ls** e **hs**. O volume é controlado pelo parâmetro **vol** e varia entre **0-4**, sendo **0** mudo. O parâmetro **led** controla a intensidade do LED principal, em miliampéres, e varia de acordo com o LED utilizado. Pode-se ajustar o parâmetro **switch** para funcionar com botões momentâneos ou com trava, valores de **0** ou **1** ligam o sabre quando o circuito for fechado ou aberto, valor **2** funciona com o botão momentâneo. O parâmetro **idleled** controla o modo Sleep da placa, e mantém um dos LEDs dos botões piscando quando a placa está nesse modo, **0** para o LED de um botão e **1**

para o outro. O botão auxiliar, que é responsável por funções secundárias da placa, é controlado pelo parâmetro **lockup**, que por default vem com a função de dar a impressão de que a lâmina está em contato constante com outra quando o botão for pressionado, ou som de deflexão de tiros, quando o botão for apertado somente uma vez. Seu valor pode variar entre **0** e **1000** e quanto menor, mais rápido o efeito de contato é ativado. Ambos os parâmetros **flks** e **flkd** controlam a intensidade que a lâmina brilha aleatoriamente durante efeitos de contato ou quando o botão auxiliar é ativado. A figura 4.14 ilustra o arquivo de configuração principal.



```
config - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
//Arquivo de Configuracao
vol=4
led=1500
switch=2
idleled=0
lc=400
hs=220
ls=50
i=55
swing=200
clash=150
lockup=150
flks=3
flkd=20
```

Figura 4.14 – Parâmetros de Configuração [Autor].

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS OBTIDOS

5.1– Produto Final

Uma vantagem de se construir as réplicas manualmente, é o grande leque de formatos diferentes que podem ser escolhidos, desde design e estrutura do cabo a cor dos LEDs e tamanho da lâmina. Como ilustrado na figura 5.1, o produto final é um sabre baseado nos sabres do filme.

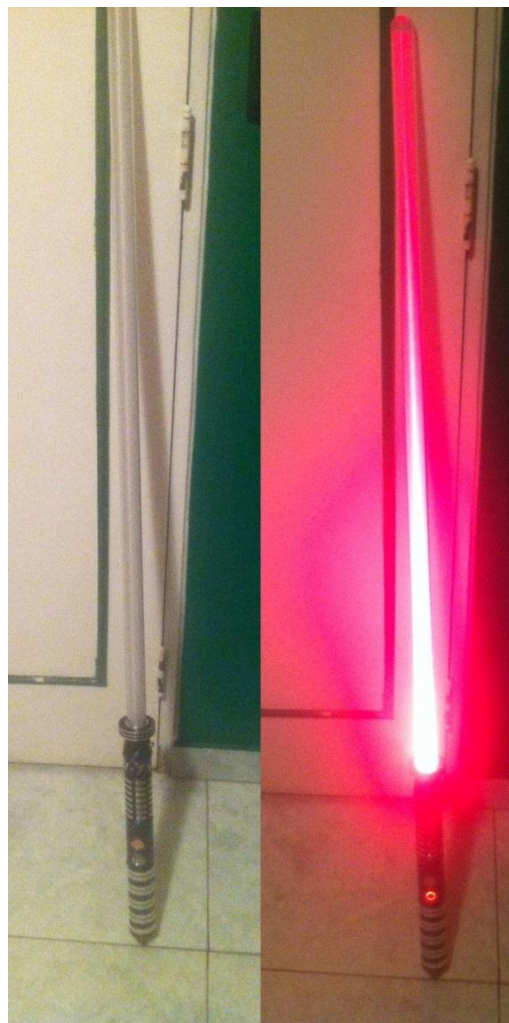


Figura 5.1 – Produto Final [Autor].

A criação de réplicas de sabres de luz é uma prática pouco conhecida, principalmente no Brasil. Pesquisas na internet sobre réplicas produzidas no país retornam poucos resultados, levando a crer que o produto apresentado aqui é um dos poucos criados em território brasileiro.

Como a estrutura externa do cabo pode ser inteiramente planejada de acordo com a vontade do usuário, há uma infinidade de formatos e desenhos diferentes que podem compor o sabre. É possível construir uma réplica idêntica aos sabres usados no filme, ou criar um desenho próprio e único. A imagem 5.2 ilustra o resultado de um sabre baseado nos sabres do filme, porém com um desenho e estrutura planejados pelo autor.



Figura 5.2 – Detalhes do Produto Final [Autor].

5.2– Resistência do Material

Quando finalizado toda a instalação de componentes, é importante verificar se tudo está seguro dentro do cabo. Não pode haver peças soltas, pois há um grande risco de danificar o circuito se alguma peça se soltar, devido à quantidade de choques que o sabre pode sofrer. Uma vez que tudo esteja em seu devido lugar e as partes de alumínio estejam encaixadas, é só remover o *plug* da chave de segurança e apertar o botão de *on*, o sabre está pronto para uso.

Devido à durabilidade do policarbonato e do alumínio, o sabre montado tem uma boa resistência a choques. Ao entrar em contato com algo, as vibrações causadas pela lâmina ativam o sensor de pressão, essas vibrações são contidas pelo cabo de alumínio e pelas mãos do usuário. Se o circuito estiver inserido de forma incorreta dentro do cabo, tais vibrações podem causar danos aos componentes. Na parte superior do cabo de alumínio, na peça que segura a lâmina, pode ser inserido um pequeno parafuso de contenção, para segurar a lâmina, caso ela esteja folgada no cabo.

Material resistente é algo que poucos sabres comerciais, encontrados hoje no mercado, oferecem. Alguns, inclusive, possuem LEDs no interior da lâmina ao invés de dentro do cabo, esse método traz o efeito da lâmina ser acesa aos poucos, algo que não acontece com o projeto proposto aqui. Porém, este método também traz o problema de que possuir LEDs nas lâminas torna arriscado o combate com o sabre, pois há um grande risco de danificar as lâmpadas. Outros exemplares possuem lâminas retráteis, feitas de plástico, esses são os modelos mais baratos e de menor qualidade, como ilustrado na figura 5.3.



Figura 5.3 – Sabre de Qualidade Inferior [Mercado Livre, 2012].

5.3– Custos do Produto

O produto final pode variar muito de preço, dependendo da quantidade de componentes e de onde eles serão adquiridos, mas a faixa de preço tende a ficar entre R\$300,00 e R\$1000,00. Como mencionado previamente, a placa é o elemento mais caro do sabre, produzi-la manualmente pode diminuir bastante o custo, porém aumenta muito a dificuldade do projeto. É difícil, mas é possível adquirir todos os outros componentes em território brasileiro, seja em lojas locais de componentes eletrônicos ou pela internet. Comprar produtos internacionalmente pode ser mais fácil, mas encarece o projeto, devido aos custos com frete e altas taxas alfandegárias brasileiras.

Réplicas prontas podem ser facilmente encontradas na internet, mas dificilmente são vendidas em território nacional e, ao compra-las prontas, perde-se a capacidade de customização e unicidade que uma réplica construída oferece. Uma réplica de qualidade, vendida no Brasil, pode facilmente alcançar valores acima de R\$500,00. A loja Limited Edition, em São Paulo, é um exemplo de onde tais réplicas podem ser encontradas. Um dos exemplares da loja, o sabre do personagem *Count Dooku*, é vendido por R\$449,00 (Limited Edition, 2012). O mesmo produto também pode ser encontrado no site de sua fabricante oficial, Hasbro, por US\$99,00, aproximadamente R\$205,00 (Hasbro, 2012). A figura 5.4 ilustra a réplica mencionada neste parágrafo.



Figura 5.4 – Réplica Comercial [Hasbro, 2012].

5.4– Problemas Encontrados

Dentre os problemas encontrados na construção do projeto, o mais complicado foi o espaço interno. Se a estrutura do cabo não for planejada com cuidado, existe o risco dos componentes não caberem e o projeto ter de ser refeito. Para contornar o problema do espaço interno, é importante planejar tudo previamente, incluindo dimensões dos componentes, tamanho dos fios, posição da mão, centro de massa e afins.

Recarregar as baterias é outro problema existente no projeto. Devido à necessidade de reduzir o tamanho dos fios, não é possível desacoplar as baterias do cabo sem desmontar toda a estrutura. No entanto, pode-se criar uma porta para recarregar as baterias no interior do próprio cabo, mas seria necessário planejamento prévio e algumas alterações no circuito. Esse problema não foi contornado neste projeto, para recarregar, é necessário desmontar todo o sabre.

Ajustar a sensibilidade dos sensores requer um longo processo de tentativa e erro, no qual é necessário montar e desmontar o sabre diversas vezes. É importante levar em conta que o sabre sem lâmina não possui o mesmo peso ou centro de gravidade que o sabre com lâmina, portanto é importante sempre calibrar com o cabo acoplado a lâmina. Não é possível contornar este problema, a calibração é necessária e tentativa e erro é inevitável.

O LED principal necessita de um suporte para ficar fixo e evitar que dissipe muito calor para o circuito. Para tal, foi criado um módulo de cobre para dissipar o calor e um de alumínio para segurar o LED, ambos feitos sob medida.

Devido à transparência do policarbonato, a luz emitida pelo LED principal escapava da lâmina cilíndrica tanto por cima quanto pelas laterais, não produzindo o efeito desejado. Para contornar este problema, um filme plástico foi introduzido no interior do cilindro, evitando que a luz escapasse pelas laterais da lâmina. No topo, uma parte plástica fosca foi colada, evitando também que a luz escapasse por cima.

O circuito, depois de conectado as baterias, não tem como ser completamente desligado sem removê-las. Apesar de entrar em modo *Sleep* após algum tempo de inatividade, as baterias ainda sofreriam descarga. Para contornar este problema, a solução *jack-plug* descrita previamente foi desenvolvida.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1– Conclusão

O projeto cumpre com o que foi proposto, o acelerômetro captura os movimentos com sucesso e, após calibragem, é possível obter com precisão os sons produzidos pelos sabres dos filmes. O LED simula a lâmina do melhor modo possível e o material é resistente o suficiente para resistir a choques e impactos em geral. A construção do sabre desde o início permite que o usuário escolha todo o desenho, formato, cores, respostas do circuito e toda a interação possível.

A réplica construída se torna um produto único, de alta qualidade e comparável até com as melhores réplicas comerciais produzidas hoje. O sabre pode ser usado como decoração, combates artísticos, coleção, ou qualquer outra finalidade desejada pelo usuário. Sua manutenção é simples, a bateria de lítio tem uma duração bem longa e a única coisa a ser feita é carregá-la e inserir os componentes de volta no cabo.

6.2– Propostas Para Trabalhos Futuros

Enquanto houver filmes, seriados, livros e desenhos, haverá fãs ansiosos para por as mãos em réplicas e objetos das franquias. O mercado de réplicas sempre existirá e, com o avanço da tecnologia mundial, é natural que as réplicas evoluam junto, tornando-as cada vez mais reais. Os Sabres de Luz são somente um exemplo de réplicas famosas, existem diversas outras que podem ser construídas e customizadas manualmente ao invés de compradas. Diversos projetos podem tomar este como exemplo e utilizar a Engenharia da Computação para produzir réplicas de qualidade, dignas de competir com as produções comerciais.

A tecnologia do circuito abre portas para outras aplicações fora do mundo do entretenimento também. Sistemas de alarme sensíveis a inclinação podem possuir a mesma ideia utilizada no sabre, por exemplo.

APÊNDICE 1 – Arduino WaveShield

```

/*=====
Engenharia da Computação - UniCEUB

Raphael Azevedo Palmer

=====*/

#include "FatReader.h"
#include "SdReader.h"
#include "avr/pgmspace.h"
#include "WaveUtil.h"
#include "WaveHC.h"

SdReader card;           // Guarda informações do cartão de memória
FatVolume vol;          // Guarda informações das partições
FatReader root;         // Guarda informações do sistema de arquivos
FatReader f;            // Guarda informações do arquivo utilizado
WaveHC wave;           // Objeto de áudio

#define DEBOUNCE 5      // Debouncer
byte buttons[] = {14};
#define NUMBUTTONS sizeof(buttons) // Informa o tamanho do array anterior
// Define o estado atual das ações
volatile byte pressed[NUMBUTTONS], justpressed[NUMBUTTONS], justreleased[NUMBUTTONS];

boolean sbrOn = false;

int freeRam(void)        // Retorna a quantidade de memória RAM livre
{
    extern int __bss_end;
    extern int *__brkval;
    int free_memory;
    if((int)__brkval == 0) {
        free_memory = ((int)&free_memory) - ((int)&__bss_end);
    }
    else {
        free_memory = ((int)&free_memory) - ((int)__brkval);
    }
    return free_memory;
}

void sdErrorCheck(void)
{
    if (!card.errorCode()) return;
    putstring("\n\rSD I/O error: ");
    Serial.print(card.errorCode(), HEX);
    putstring(", ");
    Serial.println(card.errorData(), HEX);
    while(1);
}

void setup() {

    byte i;
    Serial.begin(9600);    // Define a Serial Port
    putstring_nl("WaveHC with ");
}

```

```

Serial.print(NUMBUTTONS, DEC);
putstring_nl("buttons");

putstring("Memória Livre: ");
Serial.println(freeRam());
// Define os Pinos de Output
pinMode(2, OUTPUT);
pinMode(7, OUTPUT);
pinMode(4, OUTPUT);
pinMode(3, OUTPUT);

for (i=0; i< NUMBUTTONS; i++) {
    pinMode(buttons[i], INPUT);
    digitalWrite(buttons[i], HIGH);
}

if (!card.init()) {                // Utiliza 8mhz
    putstring_nl("Falha na inicialização do Cartão!");
    sdErrorCheck();
    while(1);
}

card.partialBlockRead(true);
// Procura por Partição FAT
uint8_t part;
for (part = 0; part < 5; part++) {
    if (vol.init(card, part))
        break;
}
if (part == 5) {
    putstring_nl("Nenhuma Partição Valida!");
    sdErrorCheck();
    while(1);
}

putstring("Utilizando Partição ");
Serial.print(part, DEC);
putstring(", type is FAT");
Serial.println(vol.fatType(),DEC);    // FAT16 ou FAT32

                                // Abre o diretório Root
if (!root.openRoot(vol)) {
    putstring_nl("Can't open root dir!");
    while(1);
}
putstring_nl("Pronto!");
TCCR2A = 0;
TCCR2B = 1<<CS22 | 1<<CS21 | 1<<CS20;
TIMSK2 |= 1<<TOIE2;
}
SIGNAL(TIMER2_OVF_vect) {
    check_switches();
}
void check_switches()
{
    static byte previousstate[NUMBUTTONS];
    static byte currentstate[NUMBUTTONS];
    byte index;
    for (index = 0; index < NUMBUTTONS; index++) {
        currentstate[index] = digitalRead(buttons[index]); // Lê a ação
    }
}

```

```

    if (currentstate[index] == previousstate[index]) {
        if ((pressed[index] == LOW) && (currentstate[index] == LOW)) {
            // Botao Pressionado
            justpressed[index] = 1;
        }
        else if ((pressed[index] == HIGH) && (currentstate[index] == HIGH)) {
            // Botao Solto
            justreleased[index] = 1;
        }
        pressed[index] = !currentstate[index];
    }

    previousstate[index] = currentstate[index];
}

// Toca um arquivo inteiro
void playcomplete(char *name) {
    playfile(name);
    while (wave.isplaying) {
    }
}

void playfile(char *name) {
    // Para o que o objeto Wave estiver fazendo
    if (wave.isplaying) {
        wave.stop();
    }

    // Procura arquivo no diretorio Root
    if (!f.open(root, name)) {
        putstring("Não foi possivel abrir o arquivo "); Serial.print(name); return;
    }

    // Transforma o arquivo em um objeto Wave
    if (!wave.create(f)) {
        putstring_nl("WAV Invalido"); return;
    }

    // Começa Playback
    wave.play();
}

void loop() {
    digitalWrite(3, HIGH);
    static byte playing = -1;
    if (!wave.isplaying && sbrOn == true){
        playfile ("HUM.WAV");
    }
    if (pressed[0] && sbrOn == false) {
        if (playing != 0) {
            playing = 0;
            playcomplete("SOUND1.WAV");
            sbrOn = true;
        }
    }
    if (!wave.isplaying) {
        playing = -1;
        sbrOn = false;
    }
    digitalWrite(3, LOW);
}

```

APÊNDICE 2 – Acelerômetro

```

/*=====
Engenharia da Computação - UniCEUB

Raphael Azevedo Palmer

=====*/

#include <24hj64gp.h>           //Inclui a biblioteca p/ o Microcontrolador desejado.
#define adc=10                 //Utiliza conversor AD com resolução p/ 10 bits.
#define delay(clock=xxxxxxxx) //Trocar xxxxxxxxxx pelo clock do Cristal oscilador em mhz.
#define fuses hs, nowdt, put, brownout, nolvp
#define use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)
//Inicialização das variáveis.
int Valor, Leitura_Inicial, ValorEixo_X, ValorEixo_X_anterior, ValorEixo_Y, ValorEixo_Y_anterior,
ValorEixo_Z, ValorEixo_Z_anterior;

/*=====Leitura dos eixos X, Y, Z=====*/

int Ler_Eixo(int canal){
    set_adc_channel(canal); //Leitura do acelerômetro a partir do eixo (0 - X; 1 - Y; 2 - Z).
    delay_ms(10);           //Tempo necessário p/ estabilizar as configurações ADC.
    read_adc(adc_start_only);
    return read_adc(adc_read_only); //Atribui à variável a leitura do canal ADC 0.
    delay_ms(100);          //Tempo entre as leituras do acelerômetro.
}

/*=====Função Principal=====*/

void main(){
    setup_adc_ports(ALL_ANALOG); //Configura pinos analógicos para o ADC
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Clock interno no ADC
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC); //Desliga comparadores.
    setup_vref(FALSE); //Desliga referência de tensão.
    Leitura_Inicial = 1;
    do{
        ValorEixo_X = Ler_Eixo(0); //Leitura do eixo X.
        ValorEixo_Y = Ler_Eixo(1); //Leitura do eixo Y.
        ValorEixo_Z = Ler_Eixo(2); //Leitura do eixo Z.
        delay_ms(1000);
        // Verifica se houve alteração nas posições do acelerômetro, se não, iguala.
        if(Leitura_Inicial != 1 && (ValorEixo_X != ValorEixo_X_anterior || ValorEixo_Y !=
ValorEixo_Y_anterior || ValorEixo_Z != ValorEixo_Z_anterior )){
            output_high(PIN_B4);
            delay_ms(250);
        }
        else{
            output_low(PIN_B4);
        }
        ValorEixo_X_anterior = ValorEixo_X;
        ValorEixo_Y_anterior = ValorEixo_Y;
        ValorEixo_Z_anterior = ValorEixo_Z;
        Leitura_Inicial = 0;
    }while(true);
}

```

APÊNDICE 3 – Arduino WaveShield + Giroscópio

```

/*=====
Engenharia da Computação - UniCEUB

Raphael Azevedo Palmer

=====*/

#include "FatReader.h"
#include "SdReader.h"
#include "avr/pgmspace.h"
#include "WaveUtil.h"
#include "WaveHC.h"

SdReader card;           // Guarda informações do cartão de memória
FatVolume vol;          // Guarda informações das partições
FatReader root;         // Guarda informações do sistema de arquivos
FatReader f;            // Guarda informações do arquivo utilizado
WaveHC wave;           // Objeto de áudio

boolean sbrOn = false;

const int XAccpin = 1;   // Define o pino A1 para o eixo x do acelerometro
const int YAccpin = 2;   // Define o pino A2 para o eixo y do acelerometro
const int ZAccpin = 3;   // Define o pino A3 para o eixo z do acelerometro
const int Xpin = 4;      // Define o pino A4 para o eixo x do giroscópio
const int Zpin = 5;      // Define o pino A5 para o eixo z do giroscópio
int x, z, xAcc, yAcc, zAcc; // Variáveis de leitura do Giroscópio e acelerometro

int freeRam(void)        // Retorna a quantidade de memória RAM livre
{
    extern int __bss_end;
    extern int *__brkval;
    int free_memory;
    if((int)__brkval == 0) {
        free_memory = ((int)&free_memory) - ((int)&__bss_end);
    }
    else {
        free_memory = ((int)&free_memory) - ((int)__brkval);
    }
    return free_memory;
}

void sdErrorCheck(void)
{
    if (!card.errorCode()) return;
    putstring("\n\rSD I/O error: ");
    Serial.print(card.errorCode(), HEX);
    putstring(", ");
    Serial.println(card.errorData(), HEX);
    while(1);
}

void setup() {

```

```

byte i;
Serial.begin(9600);    // Define a Serial Port
putstring_nl("WaveHC with ");
Serial.print(NUMBUTTONS, DEC);
putstring_nl("buttons");

putstring("Memória Livre: ");
Serial.println(freeRam());
// Define os Pinos de Output
pinMode(2, OUTPUT);
pinMode(7, OUTPUT);
pinMode(4, OUTPUT);
pinMode(3, OUTPUT);

for (i=0; i< NUMBUTTONS; i++) {
    pinMode(buttons[i], INPUT);
    digitalWrite(buttons[i], HIGH);
}

if (!card.init()) {          // Utiliza 8mhz
    putstring_nl("Falha na inicialização do Cartão!");
    sdErrorCheck();
    while(1);
}

card.partialBlockRead(true);
// Procura por Partição FAT
uint8_t part;
for (part = 0; part < 5; part++) {
    if (vol.init(card, part))
        break;
}
if (part == 5) {
    putstring_nl("Nenhuma Partição Valida!");
    sdErrorCheck();
    while(1);
}

putstring("Utilizando Partição ");
Serial.print(part, DEC);
putstring(", type is FAT");
Serial.println(vol.fatType(),DEC);    // FAT16 ou FAT32

                                // Abre o diretório Root
if (!root.openRoot(vol)) {
    putstring_nl("Can't open root dir!");
    while(1);
}
putstring_nl("Pronto!");
TCCR2A = 0;
TCCR2B = 1<<CS22 | 1<<CS21 | 1<<CS20;
TIMSK2 |= 1<<TOIE2;
}
SIGNAL(TIMER2_OVF_vect) {
    check_switches();
}
void check_switches()
{
    static byte previousstate[NUMBUTTONS];
    static byte currentstate[NUMBUTTONS];

```

```

byte index;
for (index = 0; index < NUMBUTTONS; index++) {
    currentstate[index] = digitalRead(buttons[index]); // Lê a ação

    if (currentstate[index] == previousstate[index]) {
        if ((pressed[index] == LOW) && (currentstate[index] == LOW)) {
            // Botao Pressionado
            justpressed[index] = 1;
        }
        else if ((pressed[index] == HIGH) && (currentstate[index] == HIGH)) {
            // Botao Solto
            justreleased[index] = 1;
        }
        pressed[index] = !currentstate[index];
    }

    previousstate[index] = currentstate[index];
}

boolean sbrOn = 0;
boolean sbrLast = 0;
boolean ledState = false;
int fadeVal = 0;
unsigned long previousMillis = 0;
int interval = 100;
void loop() {

    digitalWrite(3, HIGH);
    x = analogRead(Xpin);
    z = analogRead(Zpin);
    xAcc = analogRead(XAccpin);
    yAcc = analogRead(YAccpin);
    zAcc = analogRead(ZAccpin);

    byte i;
    static byte playing = -1;
    if (! wave.isPlaying && sbrOn == true){
        playfile ("HUM.WAV");
    }
    //Se o girar em qualquer direção(com um giroscópio de 2 eixos, se for de 3, acrescentar o outro eixo)
    if (x>280 || x<280 || z>280 || z<280 && sbrOn == false) {
        if (playing != 0) {
            playing = 0;
            playcomplete("SOUND1.WAV");
            sbrOn = true;
        }
    }
    //Se mover em qualquer direção
    else if (xAcc>280 || xAcc<280 || zAcc>280 || zAcc<280 || yAcc>280 || yAcc<280 && sbrOn ==
true){
        if (playing != 1) {
            playing = 1;
            playfile("SOUND2.WAV");
        }
    }
    if (! wave.isPlaying) {
        playing = -1;
    }
    unsigned long currentMillis = millis();
}
digitalWrite(3, LOW);
}

```

```
void playcomplete(char *name) {
    playfile(name);
    while (wave.isplaying) {
    }
}
void playfile(char *name) {
    // Toca um arquivo inteiro
    // Para o que o objeto Wave estiver fazendo
    if (wave.isplaying) {
        wave.stop();
    }
    // Procura arquivo no diretorio Root
    if (!f.open(root, name)) {
        putstring("Não foi possivel abrir o arquivo "); Serial.print(name); return;
    }
    // Transforma o arquivo em um objeto Wave
    if (!wave.create(f)) {
        putstring_nl("WAV Invalido"); return;
    }
    // Começa Playback
    wave.play();
}
```

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

247WALLST, 2010. **The Force: Star Wars Franchise Worth Over \$30 Billion and Growing**. Disponível em <<http://247wallst.com/2012/02/10/the-force-star-wars-franchise-worth-over-30-billion-and-growing/>> Visualizado em 08 de Outubro de 2012.

Amazon.com, 2012. **Star Wars Lightsabers**. Disponível em <http://www.amazon.com/s/ref=asi_1?rh=i%3Aaps%2Ck%3Alightsaber&keyword=s=lightsaber&ie=UTF8&qid=1350417056> Visualizado em 15 de Outubro de 2012.

Analog Devices Data Sheet, 2009. **ADXL327: SMALL, LOW POWER, 3-AXIS ±2g ACCELEROMETER**. Visualizado em 18 de Outubro de 2012.

Arduino.cc, 2010. **What is Arduino?** Disponível em <<http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>> Visualizado em 18 de Outubro de 2012.

Brain, Marshall, 2000. **How Microcontrollers Work**. Disponível em <<http://electronics.howstuffworks.com/microcontroller.htm>> Visualizado em 20 de Outubro de 2012.

Corteletti, Daniel, 2006. **Introdução à programação de microcontroladores Microchip PIC**. Disponível em <<http://sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTE=>>> Visualizado em 23 de Outubro de 2012.

Forbes, 2010. **'Harry Potter' Catching Up To 'Star Wars' Franchise**. Disponível em <<http://www.forbes.com/2010/09/29/star-wars-harry-potter-business-entertainment-movie-franchises.html>> Visualizado em 09 de outubro de 2012.

Genesis Custom Sabers, 2011. **Krayt Bone Link**. Disponível em <<http://genesiscustomsabers.com/>> Visualizado em 15 de Outubro de 2012.

Hasbro, 2012. **Star Wars Count Dooku Force FX Lightsaber Collectible**. Disponível em <http://www.hasbro.com/shop/details.cfm?R=00A48A38-19B9-F369-D957-EBF26C6D5E67:en_US> Visualizado em 18 de Novembro de 2012.

LadyAda, 2011. Wave Shield. Disponível em <<http://www.ladyada.net/make/waveshield/libraryhcplay6.html>> Visualizado em 22 de Novembro de 2012.

Landim, Wikerson, 2010. **Como funcionam acelerômetros e giroscópios?** Disponível em <<http://www.tecmundo.com.br/celular/4406-como-funcionam-acelerometros-e-giroscopios-.htm>> Visualizado em 16 de Outubro de 2012.

Limited Edition, 2012. **Réplica Sabre de Luz COUNT DOOKU Star Wars Stunt Lightsaber EFX.** Disponível em <http://www.limitededition.com.br/prod_view.php?id_prod=2981&id_sub=91&c=Repluca-Sabre-de-Luz-COUNT-DOOKU--Star-Wars-Stunt-Lightsaber-EFX> Visualizado em 18 de Novembro de 2012.

LuxDrive, 2010. **7007/7040 Endor Star High-Power LED Light Module.** Disponível em <<http://www.ledsupply.com/endorstar-1up.php>> Visualizado em 23 de Outubro de 2012.

Master Le, 2012. **Iron Man Mark III.** Disponível em <<http://www.masterle.org/>> Visualizado em 12 de outubro de 2012.

Mercado Livre, 2012. **Sabre De Luz Básico Vermelho Star Wars - Lightsaber Hasbro.** Disponível em <<http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-444674447-sabre-de-luz-basico-vermelho-star-wars-lightsaber-hasbro- JM>> Visualizado em 10 de Novembro de 2012.

Mercado Livre, 2012. **Sabre de Luz Master Replicas.** Disponível em <<http://lista.mercadolivre.com.br/sabre-de-luz-master-replicas>> Visualizado em 15 de Outubro de 2012.

Microchip, 2005. **PIC24H Family Overview.** Disponível em <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70166A.pdf>> Visualizado em 20 de Outubro de 2012.

Movie Replicas, 2012. **Back To The Future Flux Capacitor Unlimited Edition.** Disponível em <<http://www.moviereplicasdirect.com/back-to-the-future-flux-capacitor-unlimited-edition.html>> Visualizado em 12 de Outubro de 2012.

Physics.org, 2010. **Are Lightsabers Possible?** Disponível em <<http://www.physics.org/article-questions.asp?id=59>> Visualizado em 15 de Outubro de 2012.

Plecter Labs, 2012. **Products.** Disponível em <<http://www.plecterlabs.com/catalog/index.php?cPath=23&osCsid=9d485ba5543f5b8c0038b61a1e325b01>> Visualizado em 15 de Outubro de 2012.

Poliwork, 2012. **O Policarbonato.** Disponível em <<http://www.poliwork.com.br/home/polica.html>> Visualizado em 10 de Novembro de 2012.

RobotGear, 2012. **Arduino Nano USB Board with Atmega328.** Disponível em <<http://www.robotgear.com.au/Product.aspx/Details/297>> Visualizado em 17 de Outubro de 2012.

Shopbot, 2012. **Sabre de Luz Réplicas.** Disponível em <<http://www.shopbot.com.br/sabre-de-luz-star-wars/brasil/preco/286381>> Visualizado em 15 de Outubro de 2012.

StatisticBrain, 2012. **Star Wars Total Franchise Revenue.** Disponível em <<http://www.statisticbrain.com/star-wars-total-franchise-revenue/>> Visualizado em 09 de outubro de 2012

Tech News Daily, 2010. **Science Fact and Fiction: How a Lightsaber Works.** Disponível em <<http://www.technewsdaily.com/927-star-wars-lightsaber-weapon.html>> Visualizado em 15 de Outubro de 2012.

The Creative Side of The Force, 2012. **Lightsabers.** Disponível em <<http://thecreativesideoftheforce.wordpress.com/lightsabers/>> Visualizado em 18 de Outubro de 2012.

ThinkGeek, 2012. **Star Wars Force FX Lightsabers.** Disponível em <<http://www.thinkgeek.com/product/b72c/>> Visualizado em 15 de Outubro de 2012.