

DANIEL RYOICHI YAMADA
LEONARDO SHIMIZU YOJO

BRITE - Brazilian Intelligence for Engineering in Education

São Paulo
2015

DANIEL RYOICHI YAMADA
LEONARDO SHIMIZU YOJO

BRITE - Brazilian Intelligence for Engineering in Education

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Eletrônicos

Orientadores: Prof. Dr. Marcelo N.P. Carreño
Prof. Dr. Marco I. Alayo Chávez
Conrado L. De Vitor (PullUp)

São Paulo
2015

AGRADECIMENTOS

Existem muitas pessoas que gostaríamos de agradecer pela ajuda na realização desse projeto, então citaremos apenas algumas delas. Agradecemos aos nossos professores orientadores, que desde o começo do projeto reservaram sempre um espaço em suas agendas para encontrarem e conversarem sobre o projeto, com sugestões e comentários que nos ajudaram a seguir o rumo correto no desenvolvimento do trabalho.

Agradecemos também a empresa Pullup, que além de ceder suas instalações para a montagem dos protótipos, ainda nos proporcionou com uma grande experiência na área de hardware. Por fim, agradecemos ao Conrado, orientador e colega, cuja ajuda e apoio foram indispensáveis para que este trabalho acontecesse.

RESUMO

Este trabalho tem como principal objetivo a elaboração de um material didático com foco em eletrônica, seguindo as premissas do STEM de Educação. Este material são pequenos módulos educativos conectáveis entre si que permitem a criação de diferentes tipos de circuitos, dependendo da aplicação almejada pelo usuário. Os módulos serão seguros e robustos, permitindo a utilização por jovens com pouco ou nenhuma noção em eletrônica. Eles serão expansíveis e com característica open hardware, uma vez que determinado o padrão dos módulos, novos podem ser desenvolvidos no futuro, aumentando a variedade de circuitos a serem criados. Espera-se que este projeto auxilie no desenvolvimento do interesse de jovens pela área de eletrônica e engenharias, podendo ser inclusive adotado em salas de aula.

Palavras-Chave: Educação. Módulos educativos. Eletrônica. Open hardware. STEM.

ABSTRACT

This paper has as main objective the development of educational material focusing on electronics, following the Education STEM assumptions. This material are small educational modules connectable to each other that allow you to create different types of circuits depending on the desired application by the user. The modules will be secure and robust, allowing use by young people with little or no sense in electronics. They are expandable and open hardware feature, once determined the pattern of modules, new may be developed in the future, increasing the variety of circuits to be created. It is expected that this project will assist in the development of youth interest in the field of electronics and engineering, may be adopted even in classrooms .

Keywords: Education. Educational modules. Electronics. Open hardware. STEM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| FIGURA 01 - ÍNDICE DE EDUCAÇÃO DO MUNDO | 12 |
| FIGURA 02 - EXEMPLOS DE PLACAS DE PCB | 13 |
| FIGURA 03 - ESQUEMÁTICO DA CONEXÃO ENTRE MÓDULOS | 14 |
| FIGURA 04 - LOGO OPEN HARDWARE | 14 |
| FIGURA 05 - HIERARQUIA DAS NECESSIDADES | 15 |
| FIGURA 06 - EXEMPLO DE LPKF | 16 |
| FIGURA 07 - EXEMPLO DE CONEXÃO I2C | 17 |
| FIGURA 08 - PADRONIZAÇÃO DOS SINAIS NOS MÓDULOS | 21 |
| FIGURA 09 - DIMENSÕES MÍNIMAS DOS MÓDULOS | 21 |
| FIGURA 10 - MÓDULOS SPARKFUN | 22 |
| FIGURA 11 - MÓDULOS LITTLEBITS | 22 |
| FIGURA 12 - MÓDULOS SNAPCIRCUITS | 23 |
| FIGURA 13 - DIAGRAMA DE CONCEITOS | 24 |
| FIGURA 14 - CONECTORES BOARD-TO-BOARD | 25 |
| FIGURA 15 - PCB E VISÃO 3D DO MÓDULO FONTE | 27 |
| FIGURA 16 - PCB E VISÃO 3D DO MÓDULO BOTÃO | 28 |
| FIGURA 17 - PCB E VISÃO 3D DO MÓDULO LED | 28 |
| FIGURA 18 - VISÃO 3D DOS MÓDULOS BARGRAPH (DIREITA) E ASTÁVEL (ESQUERDA) | 29 |
| FIGURA 19 - DECOMPOSIÇÃO FUNCIONAL | 30 |
| FIGURA 20 - DECOMPOSIÇÃO FUNCIONAL NÍVEL 2 | 31 |
| FIGURA 21 - EXEMPLO DE FUNCIONAMENTO DOS MÓDULOS | 32 |
| FIGURA 22 - EAP | 33 |
| FIGURA 23 - CARTA DE GANTT - PRIMEIRO SEMESTRE | 33 |
| FIGURA 24 - CARTA DE GANTT - SEGUNDO SEMESTRE | 34 |
| FIGURA 25 - MATRIZ DE RISCOS | 34 |
| FIGURA 26 - MÓDULOS FUNCIONAIS | 37 |
| FIGURA 27 - MÓDULO FONTE BATERIA ESQUEMÁTICO | 38 |
| FIGURA 28 - MÓDULO FONTE BATERIA | 38 |
| FIGURA 29 - MÓDULO FONTE USB ESQUEMÁTICO | 40 |
| FIGURA 30 - MÓDULO FONTE USB | 40 |
| FIGURA 31 - MÓDULO BOTÃO ESQUEMÁTICO | 41 |
| FIGURA 32 - MÓDULO BOTÃO | 41 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 33 - MÓDULO DIMMER ESQUEMÁTICO..... | 42 |
| FIGURA 34 - MÓDULO DIMMER..... | 42 |
| FIGURA 35 - MÓDULO ASTÁVEL ESQUEMÁTICO..... | 43 |
| FIGURA 36 - MÓDULO ASTÁVEL..... | 43 |
| FIGURA 37 - MÓDULO FORÇA ESQUEMÁTICO..... | 44 |
| FIGURA 38 - MÓDULO FORÇA..... | 44 |
| FIGURA 39 - MÓDULO SCHMITT TRIGGER ESQUEMÁTICO..... | 45 |
| FIGURA 40 - MÓDULO SCHMITT TRIGGER..... | 45 |
| FIGURA 41 - MÓDULO OR ESQUEMÁTICO..... | 46 |
| FIGURA 42 - MÓDULO OR..... | 46 |
| FIGURA 43 - MÓDULO SENSOR LUZ ESQUEMÁTICO..... | 48 |
| FIGURA 44 - MÓDULO SENSOR LUZ..... | 48 |
| FIGURA 45 - MÓDULO SENSOR BARULHO ESQUEMÁTICO..... | 49 |
| FIGURA 46 - MÓDULO SENSOR BARULHO..... | 49 |
| FIGURA 47 - MÓDULO LED ESQUEMÁTICO..... | 50 |
| FIGURA 48 - MÓDULO LED..... | 50 |
| FIGURA 49 - MÓDULO BARGRAPH ESQUEMÁTICO..... | 51 |
| FIGURA 50 - MÓDULO BARGRAPH..... | 52 |
| FIGURA 51 - MÓDULO BUZZER ESQUEMÁTICO..... | 53 |
| FIGURA 52 - MÓDULO BUZZER..... | 53 |
| FIGURA 53 - MÓDULO SERVO MOTOR ESQUEMÁTICO..... | 54 |
| FIGURA 54 - MÓDULO SERVO MOTOR..... | 55 |
| FIGURA 55 - MÓDULO MOTOR DC ESQUEMÁTICO..... | 56 |
| FIGURA 56 - MÓDULO VOLTÍMETRO ESQUEMÁTICO..... | 57 |
| FIGURA 57 - MÓDULO VOLTÍMETRO..... | 58 |
| FIGURA 58 - MÓDULO INVERSOR DE SINAIS DE CONTROLE ESQUEMÁTICO..... | 59 |
| FIGURA 59 - MÓDULO INVERSOR DE SINAIS DE CONTROLE..... | 59 |
| FIGURA 60 - MÓDULO FIO..... | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 01 - REQUISITOS DE ENGENHARIA | 19 |
| TABELA 02 - COMPARATIVO ENTRE PRODUTOS..... | 23 |
| TABELA 03 - ANÁLISE DE FORÇAS E FRAQUEZAS | 26 |
| TABELA 04 - ORÇAMENTO PROPOSTO | 35 |
| TABELA 05 - LÓGICA OR..... | 46 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA | 11 |
| 1.1 ESPECIFICAÇÃO DA NECESSIDADE | 11 |
| 1.2 OBJETIVOS | 13 |
| 2 ESTADO DA ARTE E TRABALHOS RELACIONADOS | 16 |
| 2.1 TECNOLOGIAS RELEVANTES | 16 |
| 3 ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS | 18 |
| 3.1.1 REQUISITOS PARA O SISTEMA | 18 |
| 3.1.2 REQUISITOS DE MARKETING | 18 |
| 3.1.3 REQUISITOS DE ENGENHARIA | 19 |
| 3.1.4 PADRONIZAÇÃO DOS MÓDULOS | 21 |
| 3.2 BENCHMARKS COMPETITIVOS | 21 |
| 4 GERAÇÃO DE CONCEITOS E SUA AVALIAÇÃO | 24 |
| 4.1.1 CONECTORES | 24 |
| 4.1.2 FORMATO DO PCB | 25 |
| 4.1.3 FONTE DE ENERGIA | 25 |
| 4.1.4 INFORMATIVO | 26 |
| 4.2 ANÁLISE DE FORÇAS E FRAQUEZAS | 26 |
| 4.3 PROVA DE CONCEITO | 27 |
| 5 DECOMPOSIÇÃO FUNCIONAL | 30 |
| 6 GERENCIAMENTO DE PROJETO | 33 |
| 6.1 ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO | 33 |
| 6.1.2 CRONOGRAMA | 33 |
| 6.1.3 ANÁLISE DE RISCOS | 34 |
| 7 ORÇAMENTO | 35 |
| 8 DESCRIÇÃO DOS MÓDULOS | 36 |
| 8.1 MÓDULOS FONTE DE ENERGIA | 38 |
| 8.1.1 MÓDULO FONTE BATERIA | 38 |
| 8.1.2 MÓDULO FONTE USB | 40 |
| 8.2 MÓDULOS DE ENTRADA E SENSORES | 41 |

| | |
|---|-----------|
| 8.2.1 MÓDULO BOTÃO | 41 |
| 8.2.2 MÓDULO DIMMER | 42 |
| 8.2.3 MÓDULO ASTÁVEL | 43 |
| 8.2.4 MÓDULO FORÇA | 44 |
| 8.2.5 MÓDULO SCHMITT TRIGGER | 45 |
| 8.2.6 MÓDULO OR | 46 |
| 8.2.7 MÓDULO SENSOR LUZ | 48 |
| 8.2.7 MÓDULO SENSOR BARULHO | 49 |
| 8.3 MÓDULOS DE SAÍDA E ATUADORES | 50 |
| 8.3.1 MÓDULO LED | 50 |
| 8.3.2 MÓDULO BARGRAPH | 51 |
| 8.3.3 MÓDULO BUZZER | 53 |
| 8.3.4 MÓDULO SERVO MOTOR | 54 |
| 8.3.5 MÓDULO MOTOR DC | 56 |
| 8.3.6 MÓDULO VOLTÍMETRO | 57 |
| 8.4 MÓDULOS DE CONEXÃO | 59 |
| 8.4.1 MÓDULO INVERSOR DE SINAIS DE CONTROLE | 59 |
| 8.4.2 MÓDULO FIO | 60 |
| 9 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES | 61 |
| REFERÊNCIAS | 63 |
| APÊNDICE A - LISTA DE COMPONENTES | 65 |
| APÊNDICE B - MANUAL | 67 |

1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Sociedades prósperas e desenvolvidas possuem um alto nível de escolaridade de sua população. O índice de escolaridade publicado pela Organização das Nações Unidas (ONU), na Figura 01, revela que os países em que os cidadãos têm maior grau de escolaridade são também aqueles que figuram nas primeiras posições nos rankings de desenvolvimento humano e PIB per capita (1). Logo é possível notar que há uma relação entre qualidade de vida e grau de escolaridade das pessoas, e, portanto investimentos em educação são essenciais para o bem social.

Por outro lado, o nível de escolaridade da população brasileira vem crescendo nos últimos anos, porém o país ainda possui um grande número de analfabetos, principalmente em comparação com nações vizinhas como a Argentina e Uruguai. Entre as matérias com ensino mais defasadas nos jovens brasileiros podemos destacar a matemática e ciências, duas disciplinas fundamentais para o desenvolvimento tecnológico, porém pouco estimuladas nas escolas de ensino fundamental e médio.

A expressão "STEM" do inglês é o acrônimo para "Science, Technology, Engineering and Mathematics" (2) e vem sendo utilizada nos EUA para se referir às disciplinas na área de exatas ligadas ao desenvolvimento tecnológico. A importância atribuída nessa área mostra a preocupação americana na educação de suas crianças e jovens para temas relacionados com tecnologia, e no seu papel estratégico para o futuro da nação. Neste contexto, a descoberta e desenvolvimento de novas tecnologias para auxiliar o processo de ensino na área de Stem trará benefícios para a sociedade tanto socialmente quanto economicamente.

1.1 Especificação da Necessidade

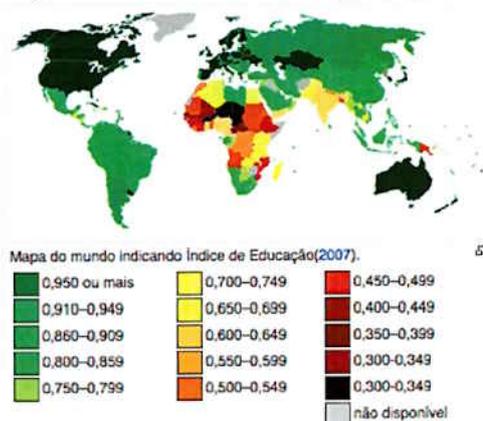
Tomando como base as questões levantadas acima e somando o fato de que no Brasil não há muitos incentivos para despertar o interesse nos jovens de se tornarem pesquisadores, cientistas ou empreendedores, podemos observar que há uma carência de atrativos para a área de exatas na educação brasileira. Essa necessidade tem fundamentos em diversos aspectos, tais como as condições

precárias na infraestrutura de várias escolas, baixos salários e desvalorização dos professores, entre outros motivos.

Porém entre os diferentes aspectos que podem ser citados, vamos destacar o fato de haver poucas ferramentas disponíveis para os profissionais educadores desenvolverem os seus trabalhos com os jovens. Além da limitação na quantidade e na variedade de ferramentas disponíveis, observa-se que muitas dessas ferramentas não apresentam a versatilidade que muitas vezes é necessária no meio acadêmico. Muitas das ferramentas disponíveis também não exploram os recursos tecnológicos disponíveis, aspecto que poderia ser melhorado a partir da inserção de novas ferramentas que fazem uso dos recursos modernos e que, atrelados aos métodos mais antigos, poderiam trazer melhorias na educação. Nesse contexto, nos últimos anos, além do uso do giz e quadro negro, vem crescendo a utilização de ferramentas mais modernas como tablets e computadores nas salas de aula, principalmente com as possibilidades e facilidades trazidas pela Internet.

Outro aspecto a destacar, é que a introdução de ferramentas mais modernas aos jovens pode ser importante para que no futuro eles ou elas possam se interessar no desenvolvimento de novas tecnologias. Para isto porém, outras ferramentas (além do computador) mais voltadas ao ensino poderiam ser mais interessantes. Portanto é possível enxergar nesse cenário uma carência de um instrumento totalmente voltado para fins pedagógicos, que além de levar novos conhecimentos para os jovens, também possa ser lúdico e divertido, e que possa despertar o interesse no assunto estudado.

Figura 01 - Índice de Educação do mundo



Fonte: Índice publicado pela ONU em 2009 (período analisado de até 2007) (1)

Na Figura 01, podemos notar claramente a importância do nível de escolaridade no desenvolvimento de um país. De fato, podemos notar que países da América do Norte como os EUA e o Canadá, da Europa como a Alemanha e da Oceania como a Austrália, todos com índice de educação superior a 0,95 no ano de 2007 apresentaram índice de desenvolvimento humano de 0,951; 0,961; 0,935 e 0,962 respectivamente nesse mesmo ano, ou seja, o nível de escolaridade reflete diretamente o nível de desenvolvimento desses países.

1.2 Objetivos

O objetivo desse projeto será desenvolver pequenos módulos educativos e interativos que possibilitem aos jovens terem acesso à área de “STEM” de forma divertida e intuitiva, promovendo a busca de soluções de problemas utilizando como base os diferentes módulos criados. Como proposta, o público-alvo poderia ser de qualquer faixa etária, mas como projeto, nosso alvo serão alunos do primeiro ano do ensino superior de Engenharia, em especial aos alunos da Grande Área Elétrica, promovendo o interesse e a familiarização dos conceitos de engenharia.

Os módulos serão basicamente pequenas placas de Printed Circuit Board(PCB) com conexões macho e fêmea para interconexão entre eles, e que implementam diversas funções e elementos do circuito.

Figura 02 - Exemplos de placas de PCB



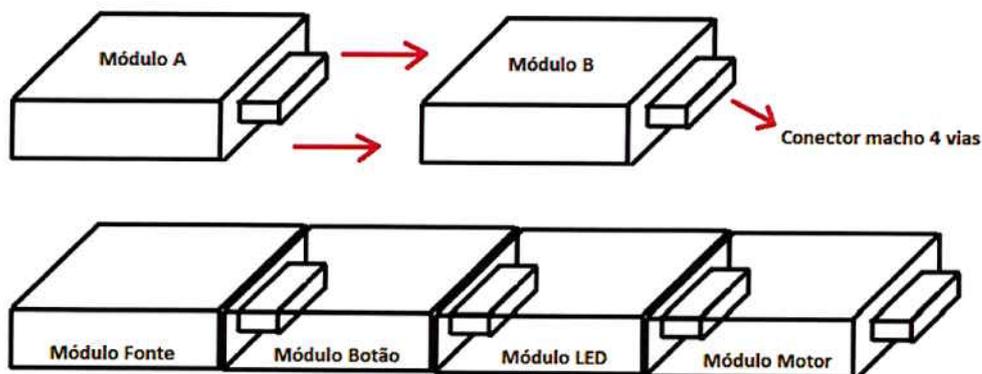
Fonte: PCB-México

Os módulos deverão ter conexões unidirecionais (ou seja, não haverá perigo de inverter polaridades por exemplo), conterá informações técnicas do funcionamento dos mesmos e funções variadas (sensores, atuadores, chaves). Na Figura 03, temos um esquemático simplificado mostrando como os módulos se

conectariam uns com os outros. Caberá ao usuário apenas conectar os vários componentes e descobrir as possibilidades que podem ser criadas com eles.

Um fator importante do projeto é a robustez tanto do ponto de vista mecânico quanto do ponto de vista elétrico. O público alvo destinado para este produto é muito variado, indo desde entusiastas em eletrônica até pessoas sem nenhuma experiência, portanto é possível que sejam feitas tentativas de conectar os módulos de forma errada espontaneamente. Para evitar qualquer tipo de prejuízo, o sistema deverá ser a prova de erros, de modo que não seja possível causar acidentes por imperícia como por exemplo curto circuitos.

Figura 03 - Esquemático da conexão entre módulos



Fonte: Autores

Ainda, eles deverão possuir tamanho reduzido para que a conexão entre os n módulos não ocupe grandes espaços no ambiente de trabalho e também para que possuam apelo estético mais convidativo. Por fim, eles serão planejados de forma robusta para que possuam uma vida útil longa e resistam a todo nível de usuário.

Figura 04 - Logo Open Hardware

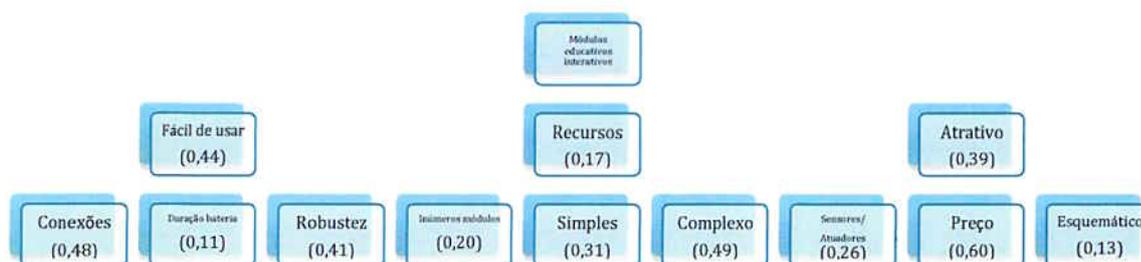


Fonte: OSHWA

Um dos principais atrativos desse projeto é sua característica Open Source (no caso, Open Source Hardware) e como os módulos serão padronizados

(conectores, sinais, tamanho da placa), o universo de possibilidades de criação de módulos é enorme. Desde os módulos mais simples até os mais complexos, todos eles serão conectáveis, permitindo a adição constante de novos tipos de circuitos para expandir sua "biblioteca". Na Figura 05 é possível observar o esquema da hierarquia das necessidades dos módulos com os respectivos pesos relativos.

Figura 05 - Hierarquia das necessidades



Fonte: Autores

2 ESTADO DA ARTE E TRABALHOS RELACIONADOS

O conceito de criar produtos voltados para a área da educação sempre foi foco de muitos projetistas, tendo em vista a necessidade cada vez maior de investimentos nessa área. Um importante exemplo é a empresa littleBits Eletronics (3), fundada pela engenheira Ayah Bdeir e que utiliza o conceito de "open source hardware". O produto apresentado pela littleBits consiste em diversos módulos eletrônicos pré projetados que se conectam através de ímãs. A fácil conexão entre os módulos permite ao usuário a montagem de circuitos eletrônicos sem que haja necessidade de um conhecimento profundo na área. Porém, para que um projeto semelhante seja viável no cenário brasileiro, ele terá que possuir um valor acessível e ser fácil de se utilizar, como demonstrado nos pesos da Figura 05.

Veremos a seguir algumas das tecnologias que estão sendo discutidas no momento e que possivelmente serão utilizadas no projeto.

2.1 Tecnologias relevantes

LPKF (4): "*Leiterplatten Kopier Fräsen*" ou Circuit Board Copy Milling são equipamentos que fabricam placas de circuito impresso. Por meio dos arquivos compilados de uma plataforma de criação de layout, esse equipamento cria sulcos no cobre, criando as trilhas desejadas. O LPKF existente na Escola Politécnica permite inclusive a elaboração de placa dupla-face, uma característica muito importante para os módulos mais complexos. A idéia inicial seria utilizar esse equipamento para a elaboração dos protótipos do projeto.

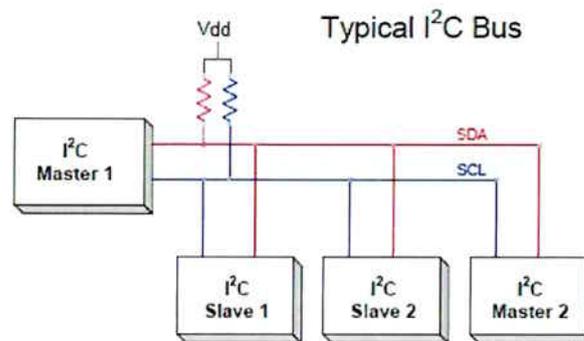
Figura 06 - Exemplo de LPKF



Fonte: LPFK

I2C: Inter-Integrated Circuit ou I2C (5) é um barramento serial que permite a comunicação bidirecional entre um módulo "mestre" e diversos módulos "escravos". Para realizar esta ligação, são necessárias duas vias: uma de dados (SDA) e uma de clock (SCL). Por meio do clock, o módulo mestre determina com qual dos módulos escravo ele irá fazer a comunicação, permitindo a transmissão de dados por um mesmo barramento seja qual for a posição do módulo escravo, lembrando que uma das idéias projeto é que os módulos possam ser conectados sem uma ordem pré-definida, portando sendo possível implantar essa tecnologia.

Figura 07 - Exemplo de conexão I2C



Fonte: Cypress

Altium Designer (6): Para realizar os desenhos dos circuitos esquemáticos e poder gerar arquivos para confecção das placas de circuito impresso a partir deles é preciso um software específico para essa função. O Altium Designer oferece diversos recursos para elaborar projetos de circuitos eletrônicos e transportá-las para o formato adequado de PCB.

3 ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS

Para atender os objetivos descritos anteriormente, é fundamental o estabelecimento de um padrão aplicável ao projeto, a fim de uniformizar todos os módulos e garantir que todos eles atendam às especificações que serão descritas. Esse padrão irá estabelecer critérios para a criação dos módulos de forma que eles serão facilmente reconhecíveis como parte de um mesmo conjunto de módulos. O padrão utilizado será descrito através dos requisitos.

3.1.1 Requisitos para o Sistema

O sistema será composto por diversos módulos funcionais, que por sua vez corresponderão a circuitos eletrônicos capazes de realizar uma tarefa. Ao conectarmos diversos módulos, suas funções individuais se integrarão e o circuito formado executará uma entre muitas finalidades/funcionalidades, dependendo da criatividade do usuário. Tendo em vista tais características, é possível destacar certos requisitos de engenharia para o sistema, que serão descritos na Tabela 01 associados aos requisitos de marketing derivados dos objetivos do projeto listados a seguir.

3.1.2 Requisitos de Marketing

Com base nos objetivos traçados, os seguintes requisitos são listados:

1. Fácil uso e conexão entre os módulos
2. Os módulos devem ser portáteis
3. O sistema deve ter uma boa autonomia energética
4. O sistema deve ter baixo custo
5. Os módulos devem ter um bom acabamento
6. Os módulos devem ter um apelo lúdico e educacional
7. Os módulos deverão ser imunes a erros de conexão

3.1.3 Requisitos de Engenharia

A tabela 01 mostra os requisitos de engenharia levantados para o projeto e suas ligações com os requisitos de marketing.

Tabela 01 - Requisitos de Engenharia

| Requisitos de Marketing | Requisitos de Engenharia | Justificativa |
|-------------------------|---|---|
| 2,3 | Os módulos deverão ser de baixa potência (aproximadamente 200 mW) | A partir de um levantamento inicial, foi determinado que os módulos executarão tarefas que não exigem alta potência |
| 4 | Os componentes eletrônicos devem ser de fácil acesso | Para viabilizar a confecção dos circuitos e não elevar os custos do projeto |
| 1,2,5 | Os módulos devem ter tamanho fixo e pequeno (largura fixa de 40 mm e comprimento variável) | O circuito composto por vários módulos não deve ser grande a ponto de perder a mobilidade |
| 1,2,5,7 | Os módulos deverão ser robustos | Os módulos serão conectados mecanicamente entre si e portanto devem suportar esse estresse |
| 1,6 | Deverão existir módulos de entrada/sensores (botão, LDR, microfone) e módulos de saída/atuadores (motor, LED, buzzer, relê) | Um circuito funcional deverá conter uma entrada e uma saída observável pelo usuário para que possa ser interativo |

| | | |
|-------|--|---|
| 1,6,7 | Deverá conter informações sobre os circuitos impressos nos módulos | Para que o usuário possa entender o circuito montado por ele(a) |
|-------|--|---|

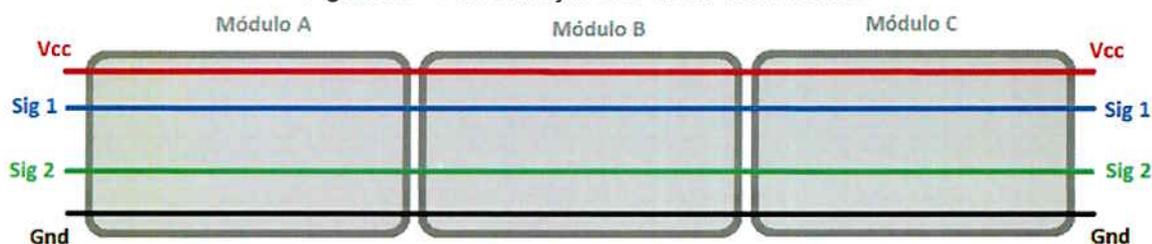
Fonte: Autores

Os requisitos levantados procuram estabelecer critérios para que os módulos cumpram com os objetivos estabelecidos. A meta é que o usuário consiga interagir com os diversos módulos e criar um circuito elétrico próprio que será capaz de realizar uma determinada tarefa.

Foi levantada a possibilidade de utilizar uma bateria de 9V para alimentação, e nesse caso, conforme forem aumentando o número de módulos conectados, maior será o consumo de energia, e portanto, circuitos com baixo consumo são necessários. Através de um levantamento inicial, foram encontrados componentes eletrônicos comerciais que atendem nossos requisitos, tanto de potência como de tamanho do circuito. Será fixado um tamanho máximo específico em largura e comprimento de cada módulo para que não comprometam os requisitos estabelecidos (vide Figura 09). A conexão física entre os módulos também é um ponto importante no projeto pois mais de um módulo poderá ser conectado para formar um circuito, e quanto maior for, mais seguro devem estar os pontos de conexão entre os módulos para não quebrar o circuito.

Como um dos principais objetivos do projeto é que este tenha fins educacionais, colocar informações sobre o funcionamento de cada módulo nos próprios módulos é fundamental. Com isso, além do usuário entender o circuito montado, ele(a) também poderá ter uma melhor experiência interagindo com os diversos módulos. Por isso foi estabelecido a divisão entre os módulos em: entradas ou sensores; e saídas ou atuadores. Módulos entradas gerarão ou modificarão sinais elétricos que propagarão para os módulos seguintes e módulos saídas apresentarão o sinal elétrico recebido de alguma forma para o usuário. Abaixo, um esquemático da disposição dos sinais dentro dos módulos.

Figura 08 - Padronização dos sinais nos módulos



Fonte: Autores

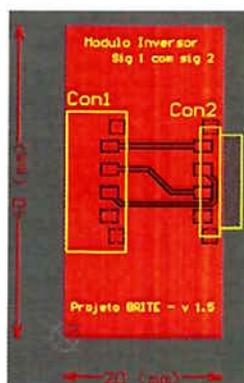
3.1.4 Padronização dos módulos

A fim de atender as especificações estabelecidas, os módulos serão divididos por cores em 3 categorias possíveis:

- Cor verde: módulos fonte de energia
- Cor azul: módulos do tipo entrada ou sensores
- Cor vermelha: módulos do tipo saída ou atuadores

Além disso, todos os módulos terão uma dimensão em comum: a largura será fixa em 40 mm e o comprimento será variável, sendo sua mínima dimensão 20 mm, para que quando conectados o circuito tenha um formato regular.

Figura 09 - Dimensões mínimas dos módulos



Fonte: Autores

3.2 Benchmarks competitivos

Foi realizada uma pesquisa para avaliar produtos já existentes no mercado e que tenham características similares às propostas neste projeto.

Produtos desse tipo ainda não são comuns e portanto os não é possível realizar comparações do sistema como um todo. Os produtos encontrados são os seguintes:

Sparkfun (7): Módulos da loja virtual que vende placas eletrônicas prontas e peças para montar projetos. As placas possuem armaduras para conectarem entre si. Além disso, são oferecidas aulas e tutoriais educativos para ajudar interessados em eletrônica embarcada. Possuem mais de 3000 itens, entre eles sensores, robótica e lot (*Internet of things*), apesar do espírito "Do It Yourself" (DIY) não ter um enfoque acadêmico/didático.

Figura 10 - Módulos Sparkfun



Fonte: Loja virtual Sparkfun

LittleBits (4): Módulos eletrônicos que se conectam através de ímãs para fins de prototipagem e educacionais. Cada módulo possui uma função diferente e atualmente existem mais de 60 módulos diferentes. Oferecem suporte à novos circuitos e são utilizados inclusive em algumas escolas americanas.

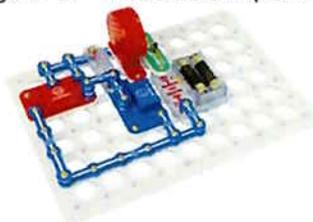
Figura 11 - Módulos littleBits



Fonte: Loja virtual littleBits

SnapCircuits (8): Brinquedo voltado para crianças a partir dos 8 anos composto por kits com diversos itens como motores elétricos, lâmpadas e alto-falantes, além de interconexões pré-fabricadas. Similar a uma placa de ensaio para eletrônica.

Figura 12 - Módulos SnapCircuits



Fonte: Loja virtual SnapCircuits

Analisando as informações contidas nas páginas virtuais dos fabricantes desses produtos, é possível observar que todos são de fácil uso e conexão entre os módulos, e possuem um bom acabamento (apelo comercial). Outros comparativos podem ser encontrados na tabela 02:

Tabela 02 - Comparativo entre produtos

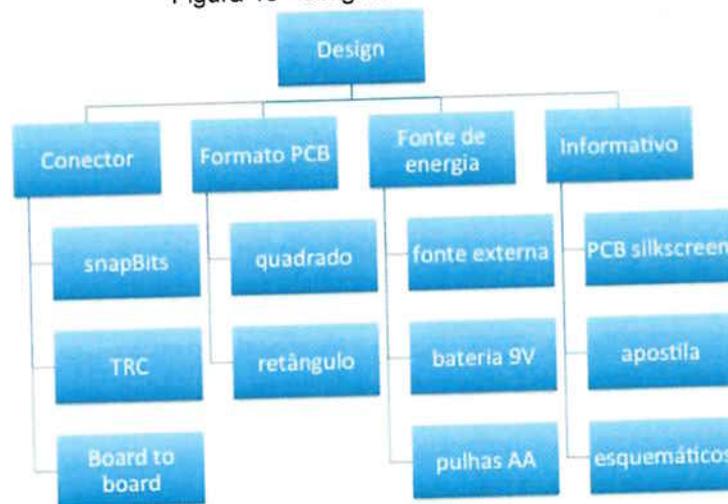
| | Sparkfun | littleBits | SnapCircuits |
|-----------------------|---|--|---|
| Fonte de energia | Fonte externa | Bateria 9V | Pilhas AA |
| Preço de um kit médio | SparkFun Inventor's Kit - V3.2 (26 itens) US\$ 99,95 | Base Kit (10 módulos + 3 acessórios) US\$ 99,00 | Snap Circuits XP (cerca de 50 itens) US\$99,95 |

Fonte: Sparkfun, littleBits e SnapCircuits

Esses produtos utilizam fontes de energia diferentes e possuem um preço de um kit médio similares, porém não é possível tomar como base esses valores por se tratarem de produtos diferentes e com finalidades diferentes.

4 GERAÇÃO DE CONCEITOS E SUA AVALIAÇÃO

Figura 13 - Diagrama de conceitos



Fonte: Autores

Para analisar o diagrama da Figura 13 acima, é preciso lembrar que um dos diferenciais desse projeto é o grande leque de possibilidades que ele permite. Portanto, vários conceitos podem co-existir no mesmo projeto, diversificando as abordagens pelo usuário.

4.1.1 Conectores

Foram levantadas algumas opções para conectores. Este é um componente crucial para o projeto pois é ele que fará a ligação elétrica e mecânica entre os diversos módulos.

As possibilidades são: conector TRC, muito utilizado em fones de ouvido; conectores snapBits, inventados pelos criadores do LittleBits; conectores USB; e conectores *board-to-board*.

Apesar do TRC ser muito prático e amplamente utilizado, na etapa de fabricação das placas, componentes com fios são muito difíceis de conectar, encarecendo seu preço. Já o snapBits possuem um preço muito elevado para o requisito deste projeto. O USB é um formato amplamente utilizado em computadores e por essa razão pode induzir o usuário a conectar os módulos em alguma outra entrada USB. A opção escolhida foi o conector tipo *board-to-board*, pois como pode ser visto da Figura 14, este conector atende bem as necessidades do projeto, sendo

robusto e unidirecional. Não é possível inverter a conexão, evitando que o usuário cause curtos circuitos.

Figura 14 - Conectores Board-to-Board



Fonte: Mouser Eletronics (9)

4.1.2 Formato do PCB

Os módulos serão conectados sequencialmente, portanto um formato quadrado ou retangular é o ideal. Outros formatos dificultariam a fabricação dos módulos sem acrescentar nenhuma utilidade. Foi determinado a fixação de uma das dimensões em 40mm e a outra variável, com tamanho mínimo de 20mm, de forma que o tamanho de cada módulo não seja muito pequeno para não dificultar a manipulação pelo usuário e nem muito grande a ponto de ser inconveniente e não portátil. A dimensão fixa foi escolhida para que os diversos módulos, quando conectados, formem uma sequência contínua em formato retangular, mantendo o apelo visual do produto.

4.1.3 Fonte de energia

Outro item são as pilhas AA, fonte de energia desnecessária se comparar com a facilidade da bateria de 9V. Outra possibilidade viável é o uso de uma fonte externa como por exemplo carregadores mini USB. Como esse tipo de fonte é amplamente utilizada em celulares, um grande número de pessoas tem acesso à essa facilidade. O projeto pode ser realizado com ambas possibilidades, havendo um módulo fonte que se conecta à uma bateria e outro módulo fonte que se conecta em uma fonte USB.

4.1.4 Informativo

Um dos requerimentos do projeto é que este seja educacional, ou seja, que sejam passadas informações para o usuário a respeito dos circuitos e módulos disponíveis. Assim como no caso da fonte de energia, mais de uma opção pode ser realizada. O ideal é que o usuário possa compreender a eletrônica por de trás do funcionamento dos módulos, e para isso o produto final será acompanhado de uma apostila contendo todas as informações relevantes sobre os circuitos eletrônicos de cada módulo. Outro conceito que atuará no mesmo sentido é o de imprimir na camada de silkscreen dos PCB's o circuito montado, com todas as trilhas que conectam os componentes utilizados em cada módulo, dessa forma o usuário poderá enxergar com maior facilidade a operação de cada módulo.

4.2 Análise de forças e fraquezas

Na Tabela 03 foram analisados diferentes métodos do Digrama de conceitos da Figura 13 de acordo com suas forças e fraquezas, já descartando certas opções anteriormente discutidas.

Tabela 03 - Análise de forças e fraquezas

| Método | Forças | Fraquezas |
|----------------|--|--|
| Board to board | intuitivo +++ robusto ++ design ++ | desgaste mecânico -- |
| quadrado | conexão mais elegante nos 4 lados + | pode limitar circuitos -- |
| retângulo | melhor uso da área útil ++ | montagens mais longas - |
| fonte externa | custo para o usuário menor + maiores potências +++ | falta de energia elétrica --- |
| bateria 9V | utilização em qualquer ambiente e situação +++ fácil de conectar +++ | menores potências - |
| pilhas AA | utilização em qualquer ambiente e situação +++ facilmente encontrada no mercado + | menores potências - permite conexões incorretas --- |
| PCB silkscreen | visualmente agradável +++ didático +++ | maior custo -- |
| apostila | baixo custo ++ didático +++ | menos atrativo - |
| esquemáticos | baixo custo ++ didático +++ | necessário conhecimento prévio -- |

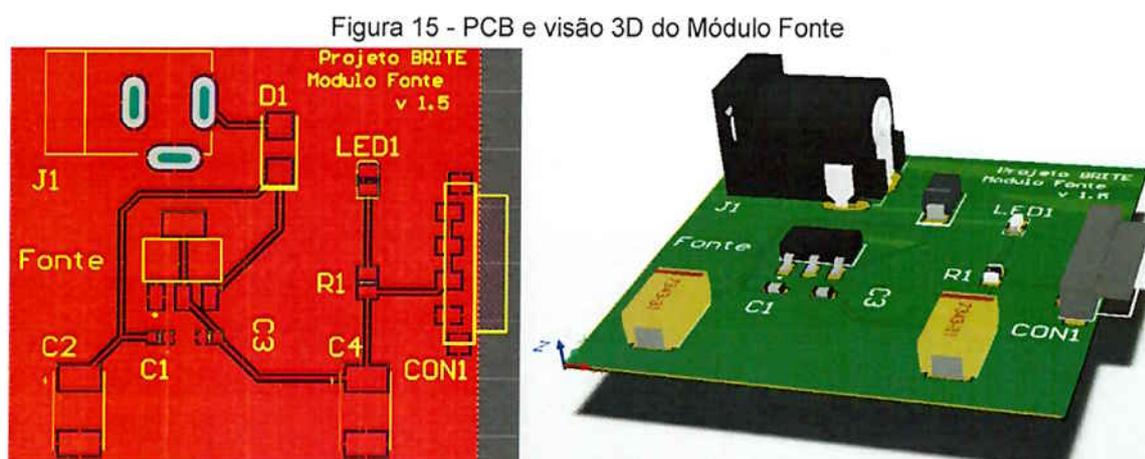
Fonte: Autores

Na coluna de forças, o índice de 1 nível (+) corresponde a uma força baixa e 3 níveis (+++) corresponde a uma força alta. Já na coluna de fraquezas, o índice de 1 nível (-) corresponde a uma fraqueza baixa e 3 níveis (---), a uma fraqueza alta. Nota-se que muitos métodos possuem pesos semelhantes, indicando que mais de um método proposto poderia ser aplicado ao projeto.

4.3 Prova de conceito

Para a prova de conceito, foram feitas análises dos módulos iniciais e essenciais, de seus esquemáticos e posterior elaboração dos layouts. Seguindo sempre a padronização decidida de sinais e conectores, já é possível ter uma visão parciais dos módulos.

Módulo Fonte:

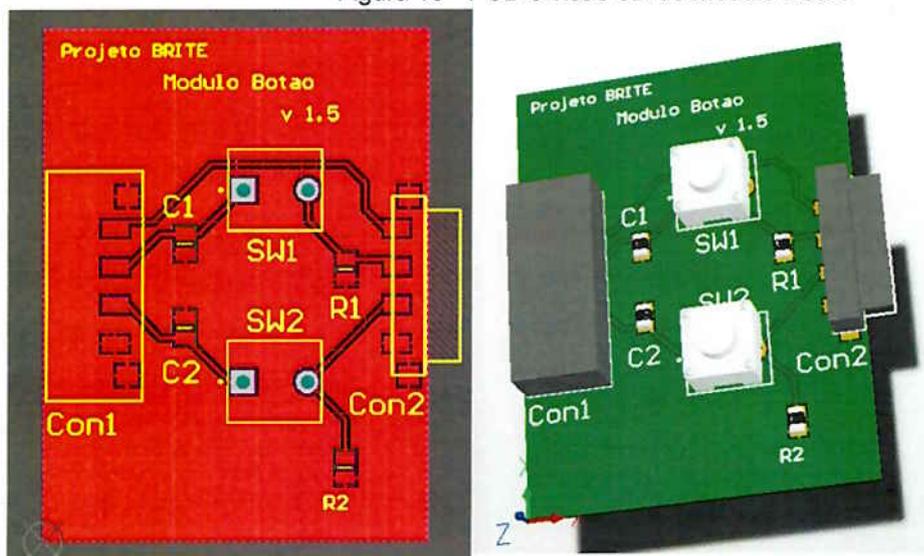


Fonte: Autores

No Módulo Fonte, têm-se na esquerda da placa a entrada para o cabo que conectará com a bateria de 9V. Por meio de um CI lm777, obtêm-se na saída um valor DC de 5V, que será o VCC de todos os módulos. Um pequeno LED indica que a fonte está funcionando. Na direita, têm-se o conector macho, que permite apenas a conexão com outro conector fêmea, garantindo a segurança dos módulos.

Módulo Botão:

Figura 16 - PCB e visão 3D do Módulo Botão

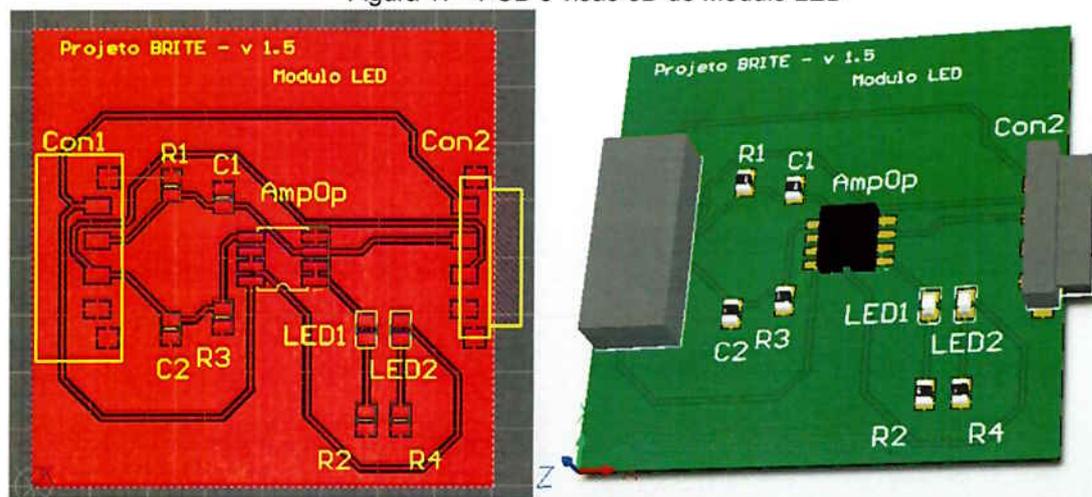


Fonte: Autores

No Módulo Botão, os conectores seguem a padronização adotada: conector fêmea a esquerda e conector macho a direita da placa. Como há dois sinais que percorrem as placas, há também dois botões, cada um controlando seu respectivo sinal.

Módulo LED:

Figura 17 - PCB e visão 3D do Módulo LED



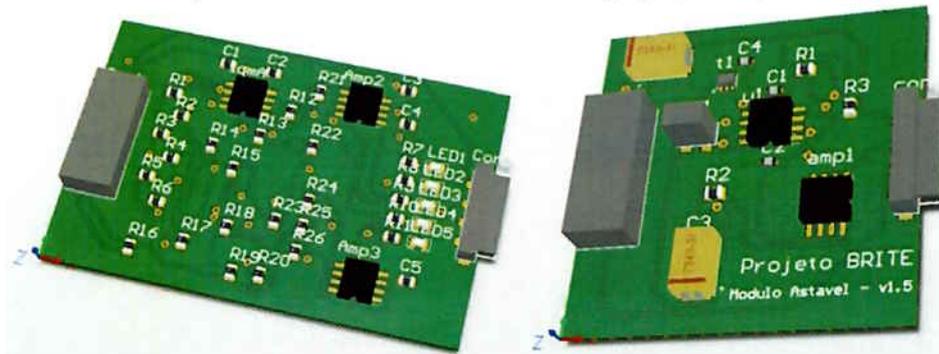
Fonte: Autores

No módulo LED, há também dois LEDs, cada um sendo controlado por um sinal dos módulos. Em todos os módulos nas quais os sinais são "utilizados" de

alguma forma, sempre haverá um aplicador operacional configurado como seguidor de tensão, com a finalidade de preservar o sinal.

Outros módulos que estão sendo elaborados:

Figura 18 - Visão 3D dos Módulos Bargraph (direita) e Astável (esquerda)

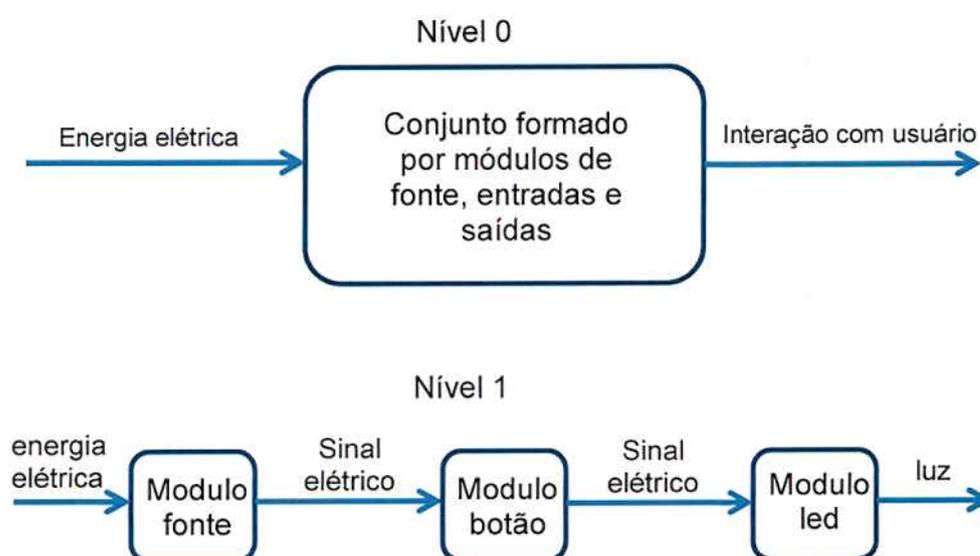


Fonte: Autores

5 DECOMPOSIÇÃO FUNCIONAL

O projeto pode ser visto como um conjunto de módulos funcionais, cada um concebido individualmente e seguindo os conceitos levantados mediante os requisitos do sistema. A decomposição funcional adotada foi uma abordagem top-down e pode ser observada na Figura 19. Vale citar que no caso específico do projeto, os próprios módulos podem ser entendidos como uma decomposição funcional do sistema e cada um poderá ter uma ação diferente.

Figura 19 – Decomposição funcional

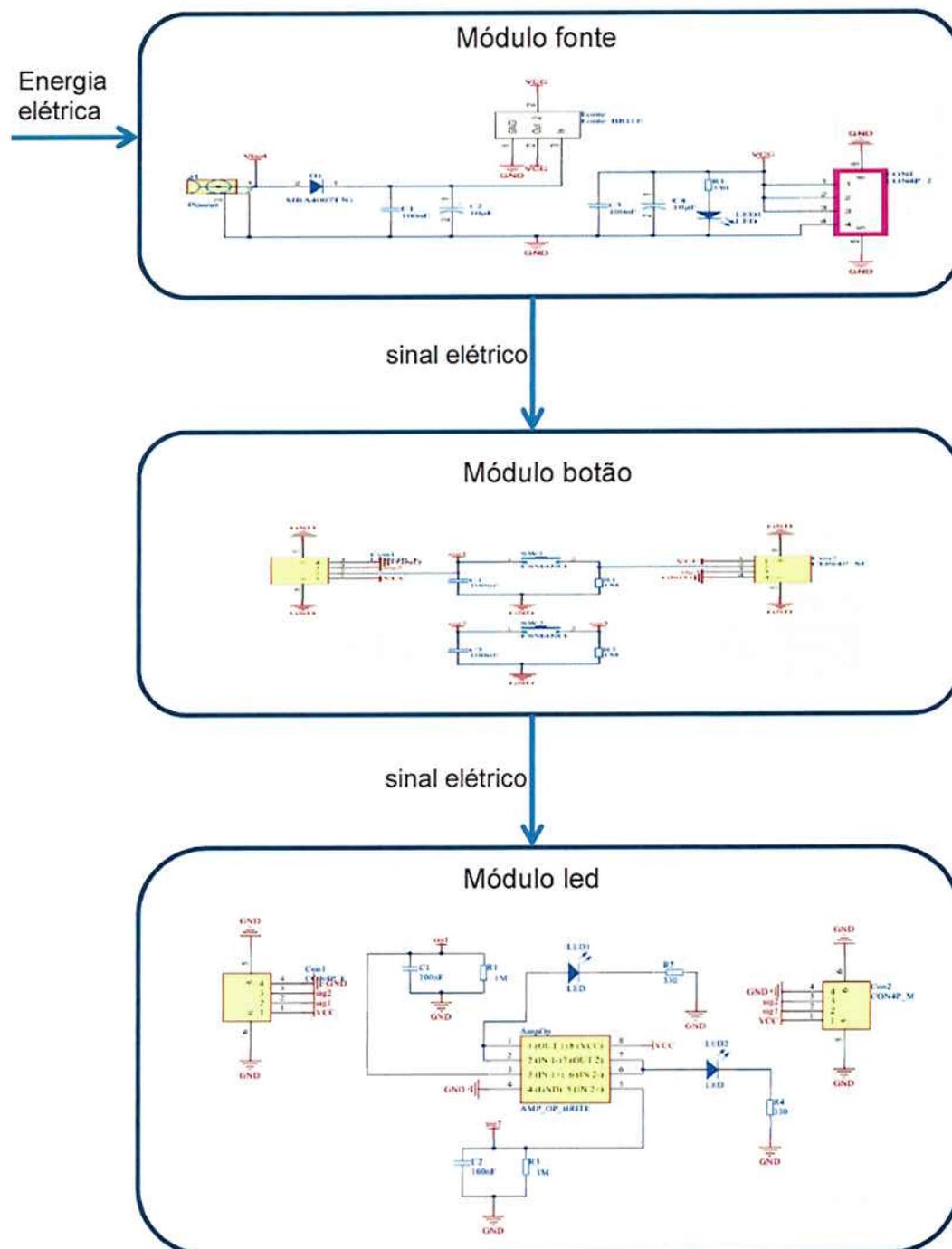


Fonte: Autores

A Figura 19 mostra a decomposição funcional de um exemplo de conjunto de módulos formado por uma fonte de energia, um módulo de entrada, no caso um botão por onde o usuário poderá interagir com o circuito e por fim um módulo de saída, no exemplo um led que acenderá caso o botão for acionado. O conjunto de blocos definirá a decomposição funcional do projeto final.

É possível, ainda seguindo o exemplo da Figura 19, aprofundar a decomposição funcional para o nível seguinte, como é mostrado na Figura 20, onde são mostrados os circuitos esquemáticos dos módulos.

Figura 20 – Decomposição funcional nível 2

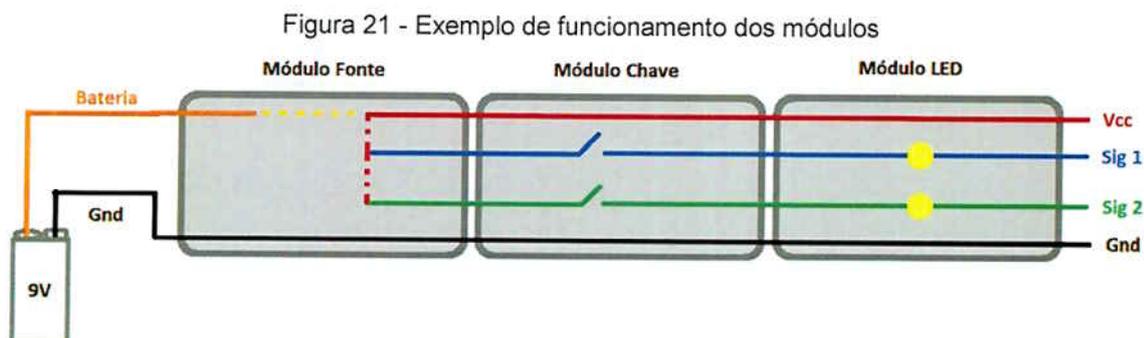


Fonte: Autores

Percebe-se de imediato que o sistema desse projeto é altamente acoplado, ou seja, um módulo depende do outro. Tal fato deve-se a todos os módulos compartilharem os sinais de VDD, GND, Sig1 e Sig2 (vide Figura 21), o que

é interessante para a elaboração de novos módulos no futuro. Para evitar que eventuais falhas de um módulo possam se propagar aos demais, os esquemáticos devem ser bem definidos e estudados, pois cada futuro módulo terá um impacto no sistema.

Por outro lado, apesar do sistema ser altamente acoplado, o sistema é altamente coeso. Cada módulo, apesar de depender dos demais, pode ser reutilizado em outras aplicações de forma independente. Por exemplo, na Figura 21: os três módulos formam um sistema que depende um do outro para funcionar. Porém, o módulo do LED poderia ser trocado por um módulo de buzzer ou qualquer outro atuador, funcionando da mesma forma.



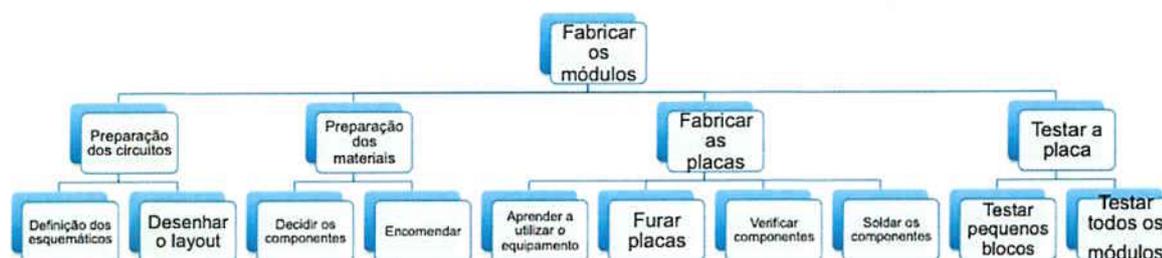
Fonte: Autores

6 GERENCIAMENTO DE PROJETO

6.1 Estrutura Analítica do Projeto

Na Figura 22, têm-se uma Estrutura Analítica do Projeto (EAP) simplificada dos diversos componentes de entregas do projeto. No caso da fabricação dos módulos, a preparação do circuitos e a preparação dos materiais ocorrem de forma paralela, uma vez que são diretamente relacionadas. As demais etapas só podem ocorrer após o término destas, sendo de grande importância sua finalização, como pode ser visto no cronograma da Figura 23.

Figura 22 - EAP

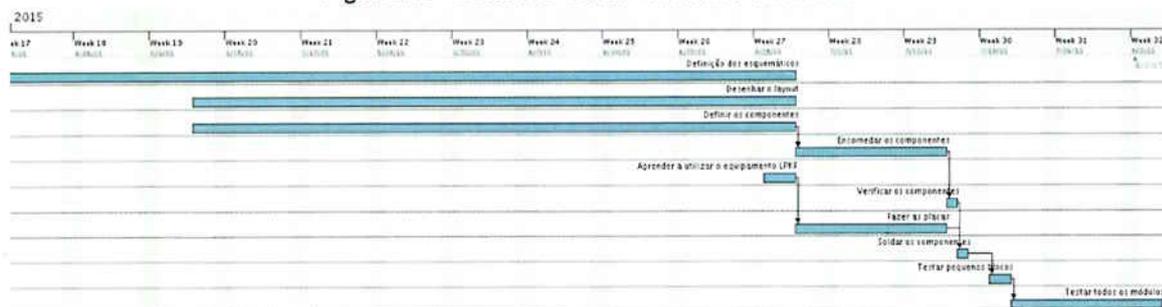


Fonte: Autores

6.1.2 Cronograma

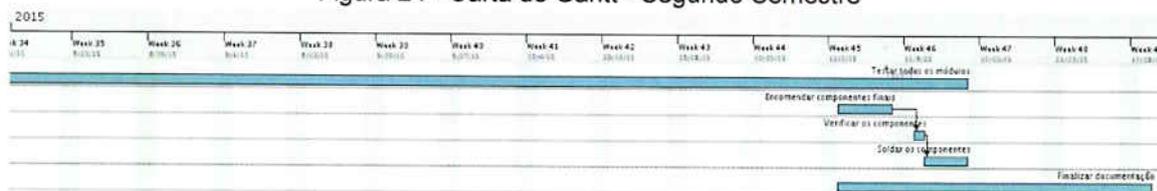
A seguir, uma versão do cronograma do projeto para o primeiro e segundo semestres de 2015, seguindo a metodologia de Gantt.

Figura 23 - Carta de Gantt - Primeiro Semestre



Fonte: Autores - GanttProject (10)

Figura 24 - Carta de Gantt - Segundo Semestre



Fonte: Autores - GanttProject

Observa-se que muitas tarefas podem ser realizadas paralelamente, otimizando o tempo de trabalho do grupo. Porém, tarefas como testes claramente precisam das tarefas anteriores finalizadas, sendo necessário avaliar as consequências de possíveis atrasos.

6.1.3 Análise de riscos

Qualquer projeto de Engenharia está sujeita a riscos, sejam eles humanos ou não, cabendo ao projetista analisar tais riscos e suas possíveis efeitos. Abaixo, na Figura 25, foi alocado cada possível risco do projeto conhecido de acordo com sua probabilidade e seu posterior impacto no desenvolvimento do projeto. Existem outros diversos fatores que poderiam ser incluídos nessa matriz e que serão eventualmente colocadas ao decorrer no projeto.

Figura 25 - Matriz de riscos

| Probabilidade | | | | |
|------------------|----------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------|
| Frequente (100%) | | | | atrasar o material |
| Provável (80%) | | | aumentar os custos | |
| Alto (60%) | | | equipamento LPKF indisponível | |
| Médio (40%) | | esquemático incorreto | | |
| Baixo (20%) | | | | layout incorreto |
| | Baixo | Médio | Alto | Muito Alto |
| | Impacto | | | |

Fonte: Autores

Foi feita a sondagem a respeito do uso do equipamento LPKF para a confecção das placas de circuito impresso, sendo o seu uso uma boa alternativa para o projeto. A lista de componentes foi feita, como pode ser observado no orçamento da Tabela 04. Seguindo o cronograma proposto, os componentes eletrônicos serão encomendados o quanto antes para que a probabilidade do maior risco da matriz acima ser o menor possível.

7 ORÇAMENTO

Tabela 04 - Orçamento proposto

| Orçamento proposto | | | | |
|--|------------|-------------------------------------|----------------|--------------------|
| Item | Quantidade | Descrição | Preço Unitário | Custo total |
| Conector PLUG | 30 | Conector 4 vias board to board, SMD | \$0.80 | \$24.00 |
| Conector SOCKET | 30 | Conector 4 vias board to board, SMD | \$1.23 | \$36.90 |
| Conector DC Power | 2 | Conector 3 vias DC Power, SMD | \$1.00 | \$2.00 |
| Transistor NPN | 20 | Dual, SMD | \$0.22 | \$4.36 |
| Trimmer | 10 | Multiturn, SMD | \$2.42 | \$24.20 |
| LM1117 | 2 | Conversor 5V DC, SMD | \$1.06 | \$2.12 |
| LM2904 | 30 | Amplificador Operacional Dual, SMD | \$0.32 | \$9.69 |
| LEDs | 30 | Cores diversas, SMD | \$0.06 | \$1.83 |
| Capacitores | 100 | Cerâmicos, SMD | \$0.08 | \$7.60 |
| Capacitores | 20 | Poliéster, SMD | \$0.91 | \$18.28 |
| Resistores | 100 | Tick Film, SMD | \$0.19 | \$19.10 |
| NE555 | 3 | CI555, SMD | \$0.54 | \$1.62 |
| Sensores | 5 | Ópticos, temperatura, pressão | \$3.00 | \$15.00 |
| Atuadores | 5 | Buzzer, motor | \$5.00 | \$25.00 |
| Orçamento Parcial 1 | | | | |
| Frete | 1 | Por remessa | \$50.00 | \$50.00 |
| Taxas/Impostos | 70% | Taxa alfândega brasileira | 1.7 | \$410.89 |
| Orçamento Parcial 2 (cotação dólar americano R\$3,10) | | | | R\$1.273,76 |
| Placas de Circuito Impresso | 3 | Fabricação lotes de 10 placas | R\$300,00 | R\$900,00 |
| Orçamento Total | | | | R\$2.173,76 |

Fonte: Autores

Todos os valores fornecidos dos componentes foram pesquisados na loja online Mouser Electronics, visando sempre o melhor custo-benefício. A taxa do frete é única por remessa e os componentes são provenientes dos Estados Unidos, e precisam ser taxados de acordo com as leis brasileiras.

Espera-se fabricar as placas de circuito impresso em uma empresa especializada.

8 DESCRIÇÃO DOS MÓDULOS

Na etapa de fabricação das placas de circuito impresso, em uma decisão conjunta com os orientadores, foi decidido que as placas seriam encomendadas em uma empresa internacional chamada PCB Way (11). Além do preço por lote de 10 placas ser muito abaixo do estipulado anteriormente, o fato das placas já serem feitas com acabamento profissional otimizaria bastante os trabalhos posteriores de montagem e teste, além de se atender os requisitos propostos para o projeto no item 3 de baixo custo de produção, bom acabamento e que os módulos contenham informações a respeito do circuito que implementam. Desta forma, visto as vantagens desta solução, foi abandonado o uso da LPKF como alternativa levantada anteriormente.

Após o recebimento das placas de circuito impresso ela foi cortada para separar cada módulo. Para isso foram utilizadas a guilhotina disponível no laboratório da LME (12) e uma multi-ferramenta manual Dremel (13) disponível na Pullup (14). As beiradas das placas foram lixadas e os circuitos verificados, para por fim os componentes serem soldadas nelas.

Após a solda dos componentes, foram realizadas testes básicos de conexão e curto-circuito, para então serem energizadas com uma fonte com controle de corrente máxima.

Para convencionar a explicação do funcionamento dos módulos, deve-se notar que:

1. Os módulos em geral possuem 4 sinais que se propagam: VCC (5 V), 2 sinais de controle (Sinal 1 e Sinal 2) e GND, nessa ordem. Devido eventuais correções nos esquemáticos durante a elaboração dos mesmos, alguns nomes podem estar invertidos ou diferente nas imagens, mas não nas placas;
2. As placas foram projetadas utilizando duas camadas (top e bottom layers), sendo padronizado a colocação dos componentes sempre que possível na camada inferior. Em ambas as camadas, o plano existente é o terra, garantindo segurança e estabilidade no circuito;
3. Durante a montagem e testes das placas, alguns componentes podem ter sido substituídos ou eliminados do projeto, sem prejuízo para seu funcionamento;

4. Em módulos na qual o sinal de controle é alterado, foram utilizados amplificadores operacionais com a configuração de seguidor de tensão para evitar perdas ou alterações dos sinais de controle. Diferentemente da teoria, na prática o sinal não consegue se manter caso ele seja utilizado para outras funções, sendo necessário essa configuração para preservá-lo em todos os módulos;
5. Como padrão, na maioria dos módulos, caso haja alteração do sinal de controle ou sua utilização para acionar algum componente, este será feito no Sinal 1. O Sinal 2 prossegue para o próximo módulo sem alteração. Além do aspecto econômico, uma vez que dobrar a função de um módulo geralmente significa dobrar o custo de componentes, muitas vezes o usuário pode não querer que ambos os sinais de controle sejam usados no mesmo módulo. Na configuração existente, caso o usuário deseje utilizar o mesmo tipo de módulo para os dois sinais de controle, existe o Módulo Inversor de Sinais de Controle que simplesmente troca o Sinal 1 pelo Sinal 2 e vice-versa. Desse modo, aumentam-se as combinações possíveis de montagem de módulos sem perda de funcionalidade.
6. Capacitores de 100 nF entre o VCC e o GND foram empregados com a finalidade de evitar o desacoplamento em CIs, evitando transições indesejadas em mudanças muito rápidas em suas saídas;
7. Demais elementos de proteção contra interferências foram utilizadas ao longo dos módulos, como resistores e capacitores.

Figura 26 - Módulos funcionais

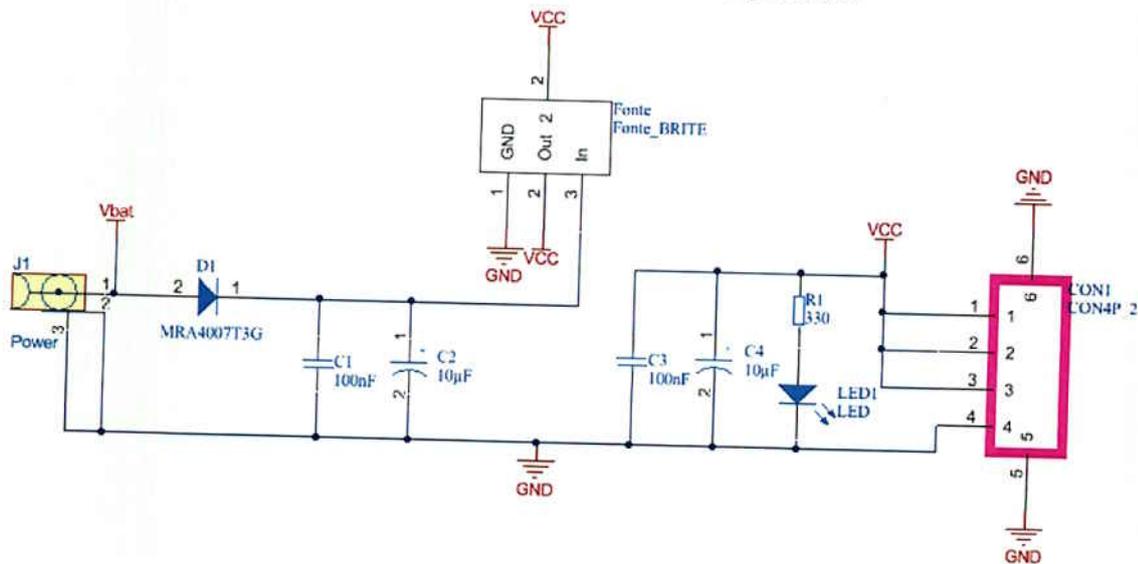


Fonte: Autores

8.1 Módulos Fonte de energia

8.1.1 Módulo Fonte Bateria

Figura 27 - Módulo Fonte Bateria Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

O Módulo Fonte Bateria, indispensável para qualquer circuito, tem como núcleo o CI LM1117, que é um regulador de tensão linear. Muito utilizado em circuitos conversores DC-DC, ele fornece em sua saída uma tensão de 5V, podendo alcançar até 800 mA. O circuito desse módulo é uma solução simples e eficiente para converter os 9V da bateria para os 5V da alimentação do circuito.

Figura 28 - Módulo Fonte Bateria

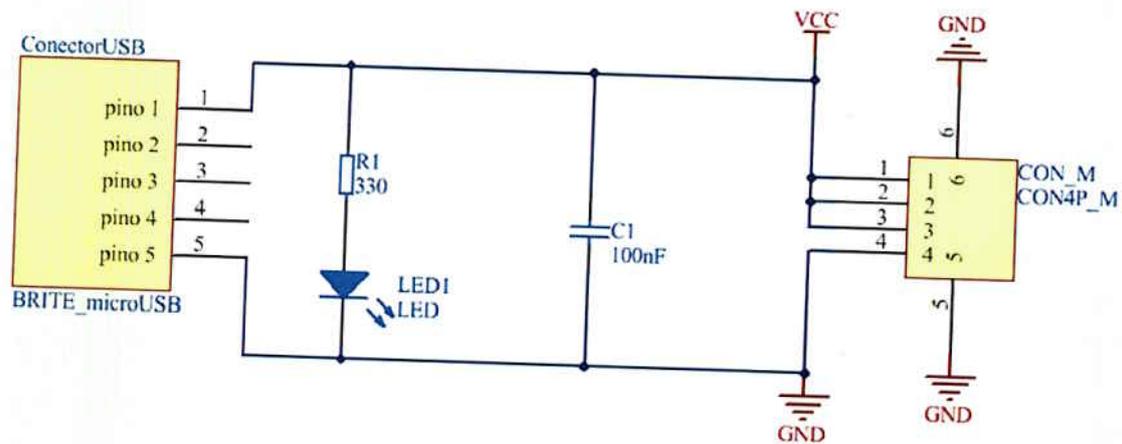


Fonte: Autores

Pode-se destacar o conector da bateria que impede que ela seja colocada de modo errado; o diodo de proteção que garante que não há erro de polaridade e o LED indicador de funcionamento do módulo. Além disso, o próprio CI garante uma segurança contra curto-circuito, protegendo os demais módulos. Por fim, por convenção, os dois sinais de controle (Sinal 1 e Sinal 2) são determinados como nível lógico 1, ou seja, 5V.

8.1.2 Módulo Fonte USB

Figura 29 - Módulo Fonte USB Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

Assim como o Módulo Fonte Bateria, o Módulo Fonte USB fornece alimentação para os demais módulos. No lugar da bateria, a fonte de energia é uma entrada USB, disponível em computadores e carregadores de tomada. Um LED indica o funcionamento do circuito, e os dois sinais de controle são pré-definidos como 5 V.

Figura 30 - Módulo Fonte USB

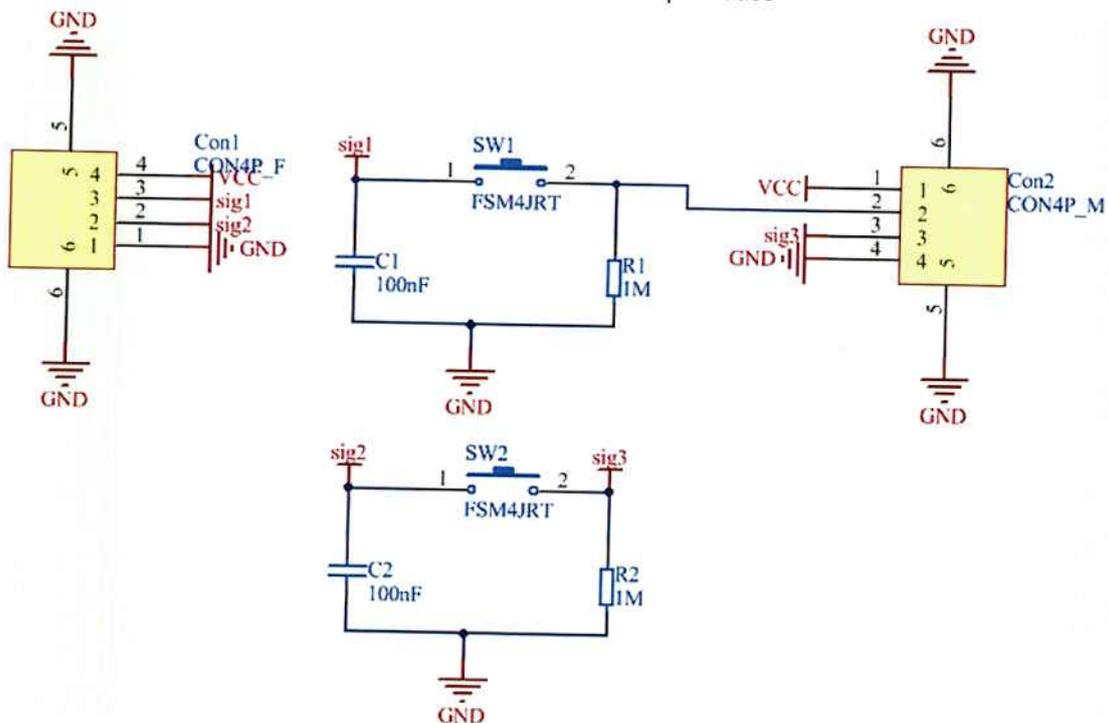


Fonte: Autores

8.2 Módulos de entrada e sensores

8.2.1 Módulo Botão

Figura 31 - Módulo Botão Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

O Módulo Botão é bem intuitivo de entender seu funcionamento, havendo um botão para cada sinal de controle. Ao apertar o botão, o sinal do módulo anterior propaga para o próximo módulo, mantendo-se enquanto o botão continuar pressionado.

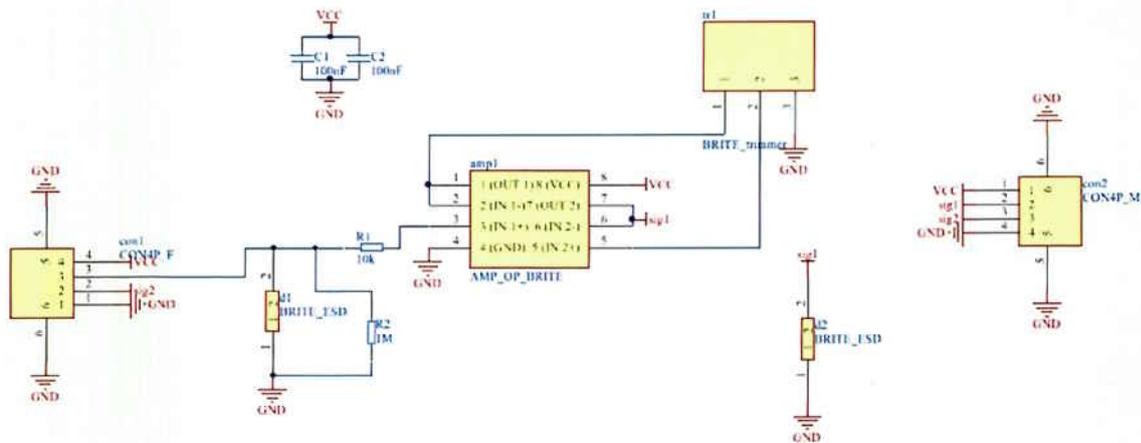
Figura 32 - Módulo Botão



Fonte: Autores

8.2.2 Módulo Dimmer

Figura 33 - Módulo Dimmer Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

Muito utilizado na iluminação de ambientes, o dimmer possibilita alterar a intensidade de brilho de uma lâmpada. O Módulo Dimmer segue este mesmo conceito, permitindo o controle da "intensidade" do sinal de controle. Esse controle é possível por meio de uma resistência variável que dependendo do ajuste feito pelo usuário, varia a saída linearmente entre 0% a 100% do sinal de controle.

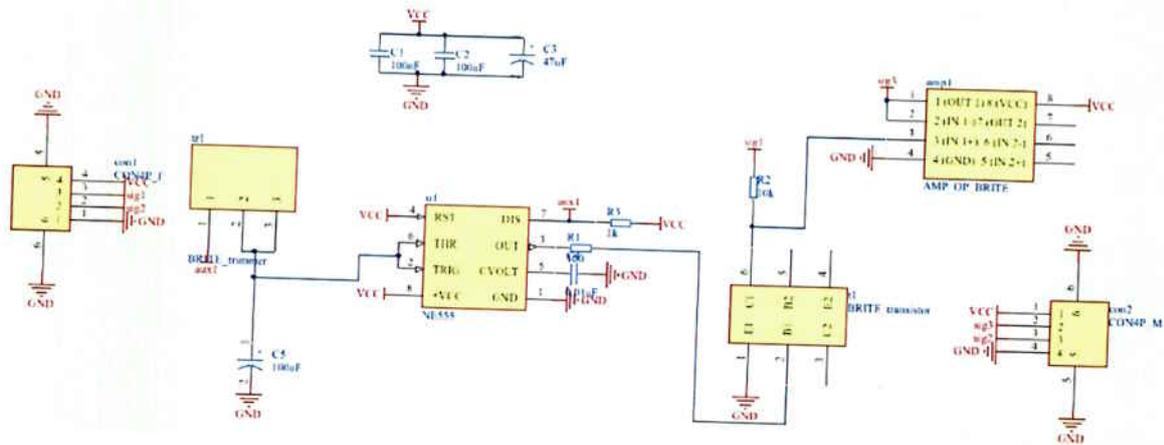
Figura 34 - Módulo Dimmer



Fonte: Autores

8.2.3 Módulo Astável

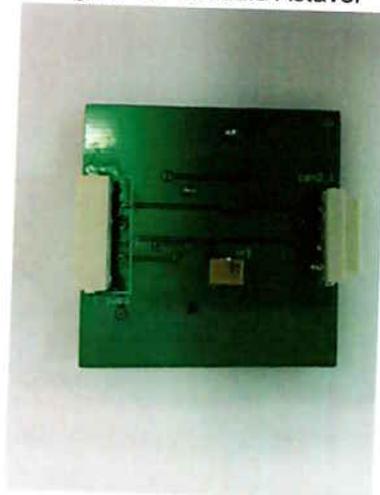
Figura 35 - Módulo Astável Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

O Módulo Astável nada mais é do que um CI 555 na configuração astável ou oscilador. Neste modo, o sinal de saída chaveia entre 0V e VCC (5V) com uma certa frequência, ajustável por meio de um trimpot.

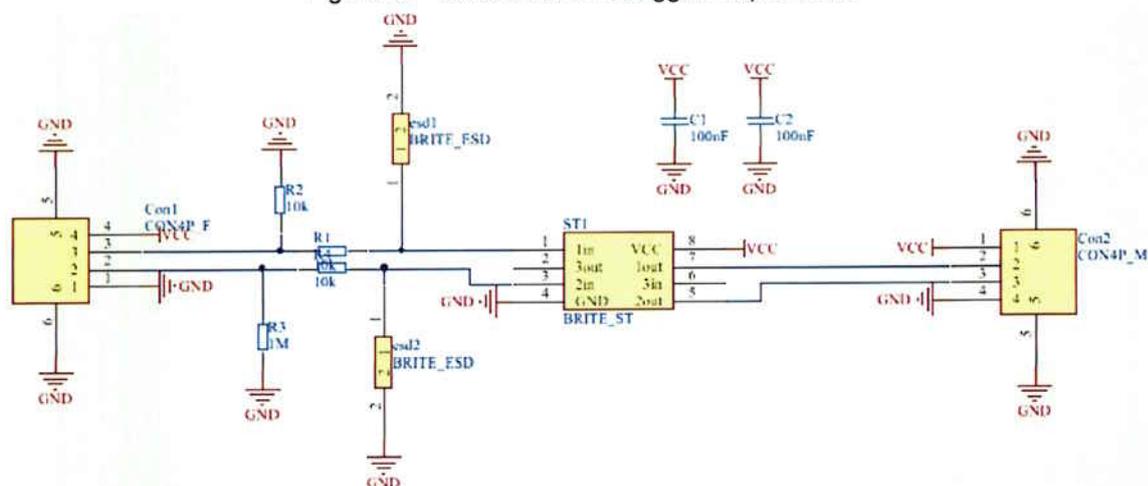
Figura 36 - Módulo Astável



Fonte: Autores

8.2.5 Módulo Schmitt Trigger

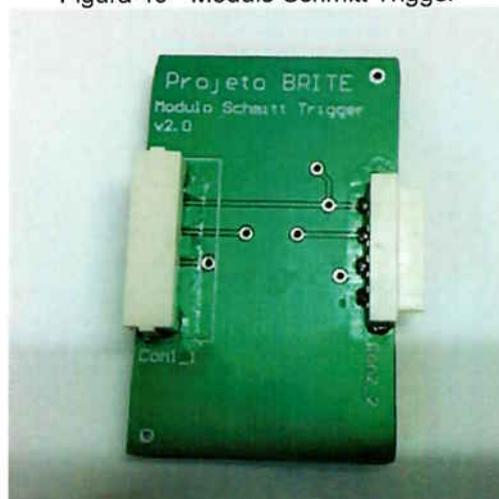
Figura 39 - Módulo Schmitt Trigger Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

Muitas vezes, um sinal proveniente de um sensor, por exemplo, precisa ser nivelado em 0 V ou 5 V. O Módulo Schmitt Trigger exerce tal função, com um nível de trigger que depende do CI utilizado.

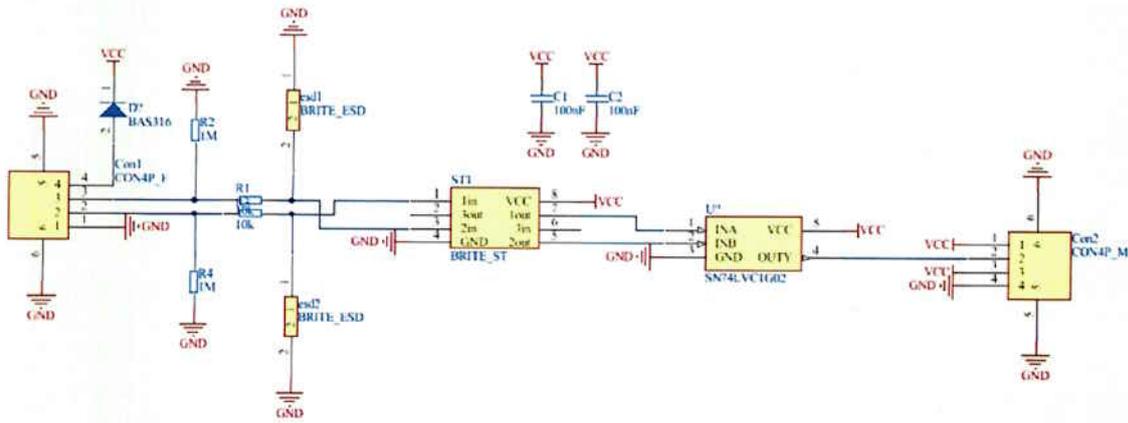
Figura 40 - Módulo Schmitt Trigger



Fonte: Autores (Altium)

8.2.6 Módulo OR

Figura 41 - Módulo OR Esquemático



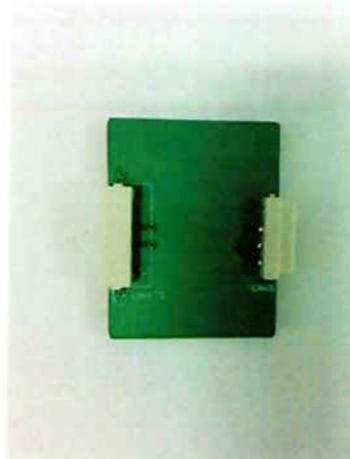
Fonte: Autores (Altium)

O Módulo OR realiza a operação lógica OR:

Tabela 05 - Lógica OR

| Sinal 1 | Sinal 2 | Saída |
|---------|---------|-------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

Figura 42 - Módulo OR



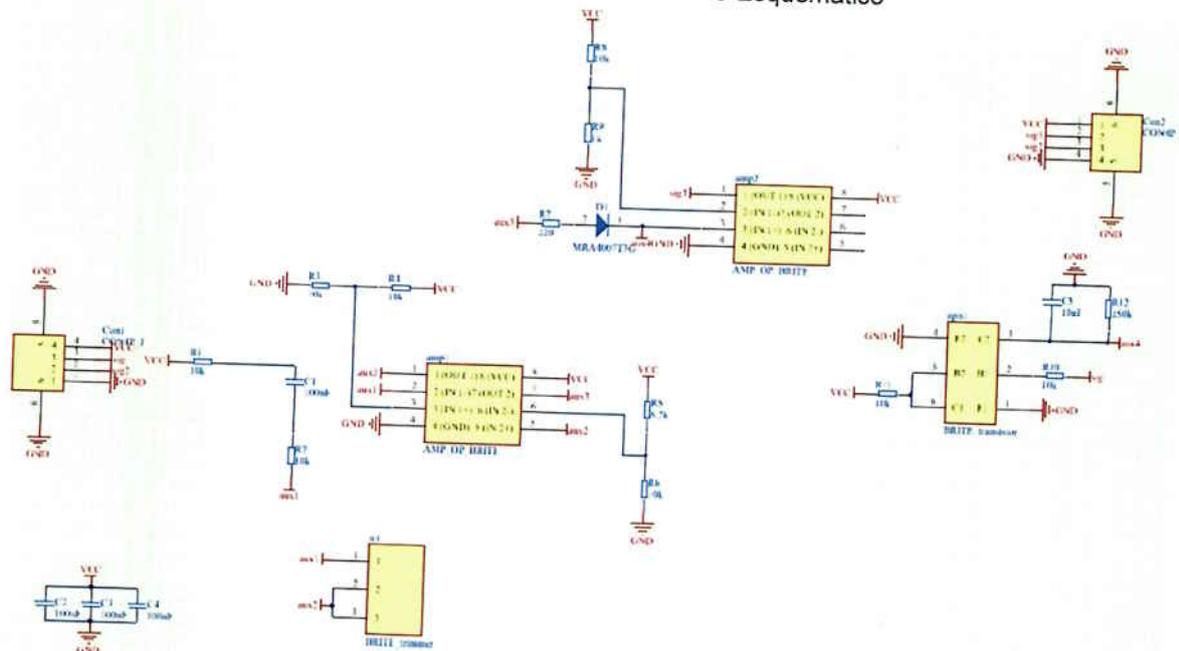
Fonte: Autores

Como o sistema trabalha com níveis lógicos, os sinais de controle passam primeiramente por um Schmitt Trigger para nivelar seus valores de tensão para os sinais lógicos 0 ou 1.

Como neste caso, o Sinal 2 ficaria indefinido, ele foi determinado como nível lógico 1.

8.2.7 Módulo Sensor Barulho

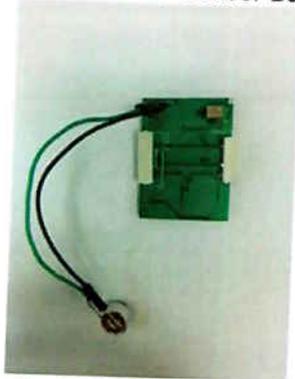
Figura 45 - Módulo Sensor Barulho Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

O Módulo Sensor Barulho irá fornecer em sua saída um pulso de período determinado (aproximadamente 3 segundos) quando houver um estímulo sonoro suficiente na entrada do microfone. Esta sensibilidade pode ser ajustada por meio de um trimpot. Esse módulo está em desenvolvimento.

Figura 46 - Módulo Sensor Barulho

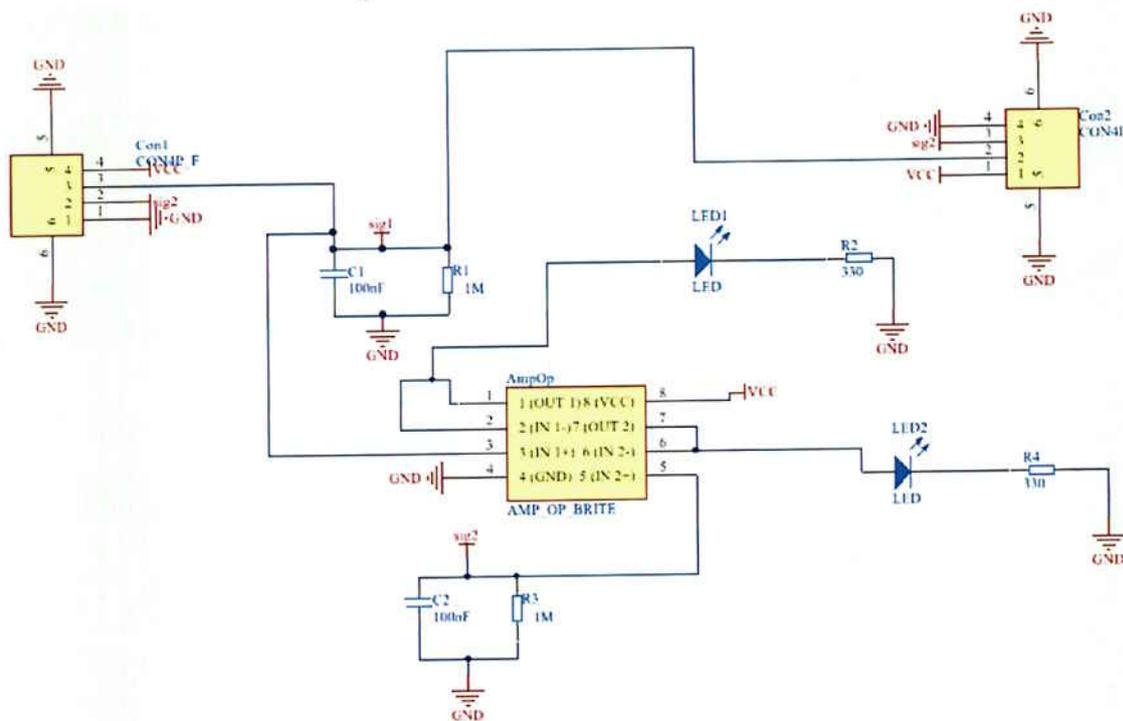


Fonte: Autores (Altium)

8.3 Módulos de saída e atuadores

8.3.1 Módulo LED

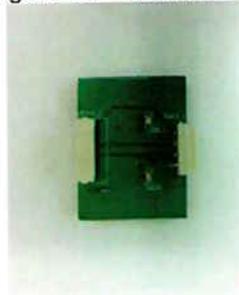
Figura 47 - Módulo LED Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

O Módulo LED possui para cada sinal de controle um LED (Sinal 1 -> LED vermelho e Sinal 2 -> LED verde) que é acionado de acordo com a entrada. O brilho do LED dependerá do valor da tensão do sinal de controle, sendo possível, por exemplo, controlar a intensidade de seu brilho com o Módulo Dimmer ou fazê-lo piscar com o Módulo Astável. Como cada LED é controlado por seu respectivo sinal de controle, a diversidade de circuitos possíveis aumenta para o usuário.

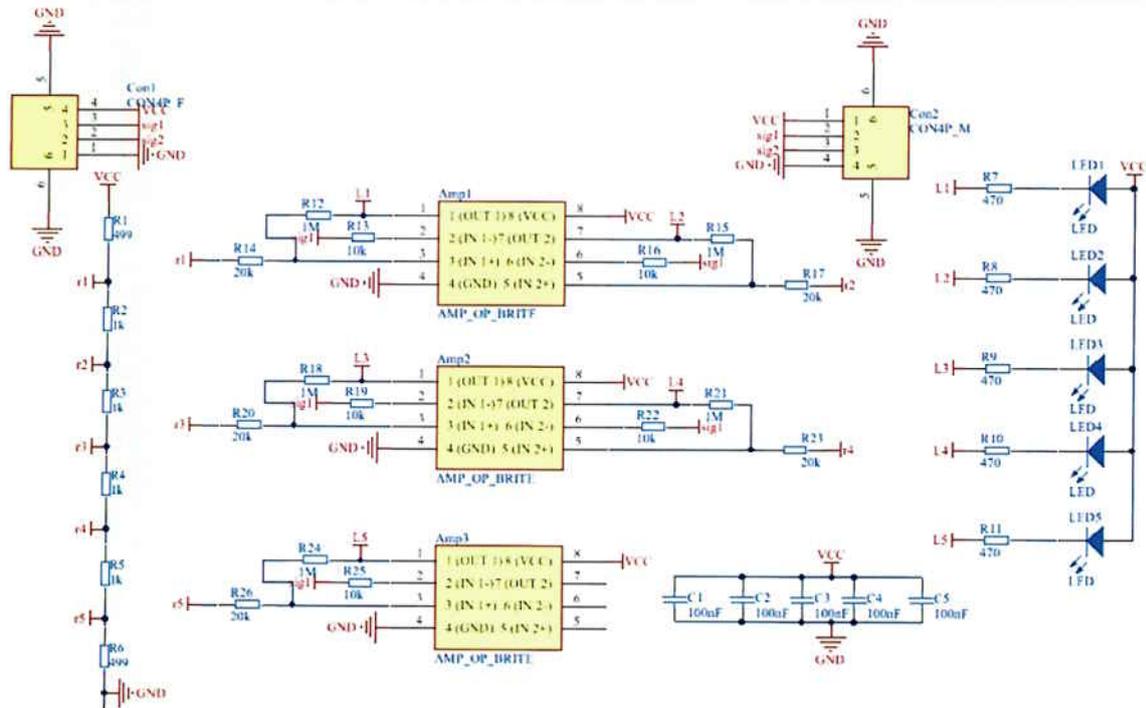
Figura 48 - Módulo LED



Fonte: Autores

8.3.2 Módulo Bargraph

Figura 49 - Módulo Bargraph Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

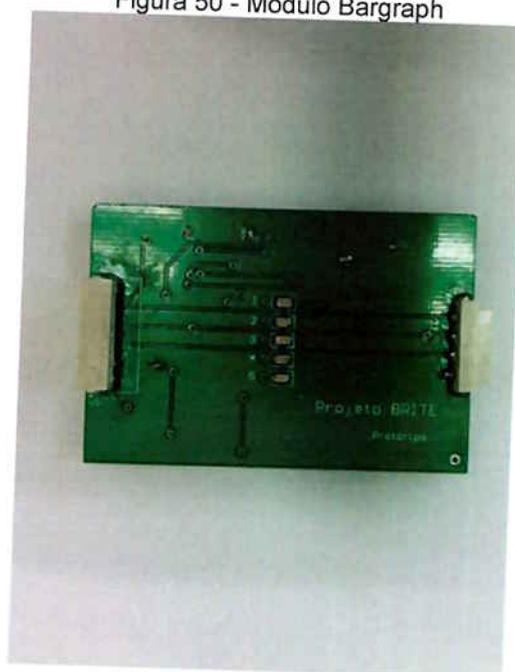
O Módulo Bargraph possui 5 LEDs indicadores (2 vermelhos, 1 amarelo e 2 verdes) que acendem de acordo com a intensidade do sinal de controle. Por exemplo (os valores abaixo são aproximados e servem apenas para referência):

- Sinal de controle = 0 V -> nenhum LED acende;
- Sinal de controle = 1 V -> primeiro LED vermelho acende;
- Sinal de controle = 2 V -> primeiro e segundo LEDs vermelhos acendem;
- Sinal de controle = 3 V -> todos LEDs vermelhos e primeiro LED amarelo acendem;
- Sinal de controle = 4 V -> todos LEDs vermelhos, LED amarelo e primeiro LED verde acendem;
- Sinal de controle = 5 V -> todos LEDs acendem.

A melhor forma de visualizar o exemplo acima é utilizando em conjunto com o Módulo Dimmer. Este circuito funciona utilizando amplificadores operacionais

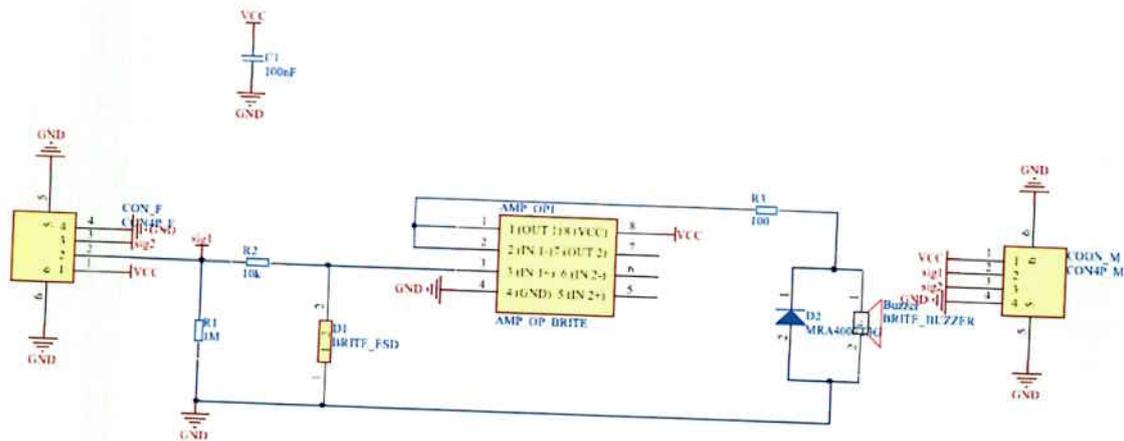
na configuração de comparação. Ao ir atingindo certos níveis de tensão, as saídas dos comparadores permitem que o LED correspondente acenda.

Figura 50 - Módulo Bargraph



Fonte: Autores

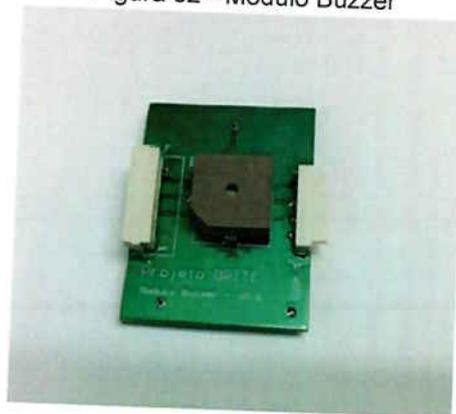
Figura 51 - Módulo Buzzer Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

O Módulo Buzzer permite uma representação sonora do sinal de controle. O buzzer é controlado diretamente pelo sinal de entrada, portanto seu nível sonoro é proporcional à entrada.

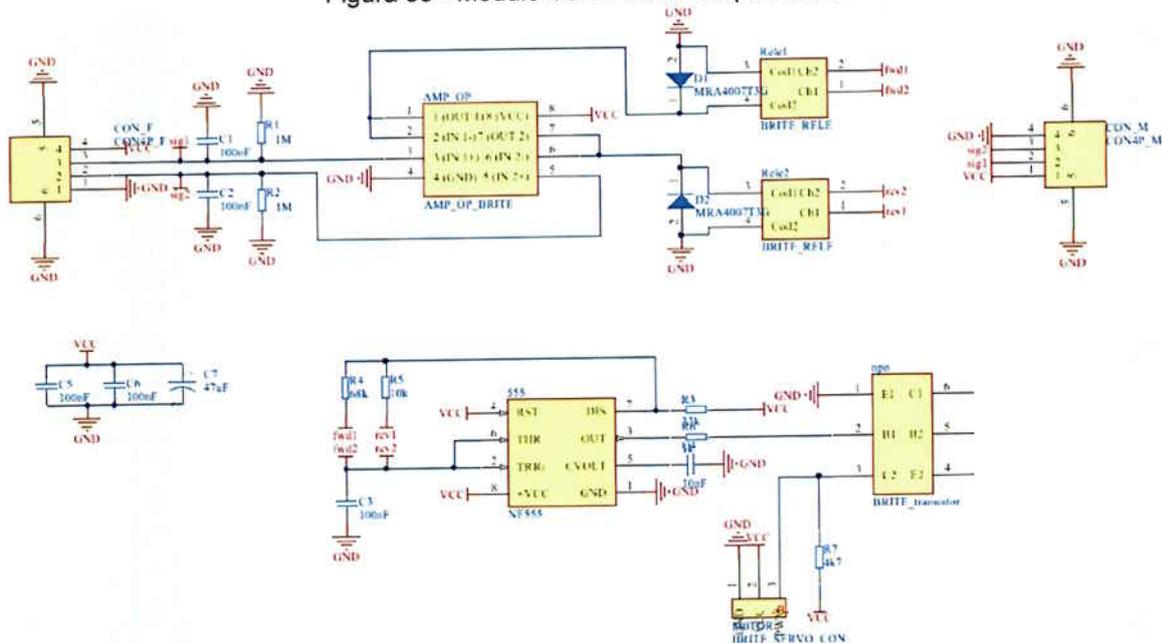
Figura 52 - Módulo Buzzer



Fonte: Autores

8.3.4 Módulo Servo Motor

Figura 53 - Módulo Servo Motor Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

O Módulo Servo Motor utiliza um CI 555 para controlar o motor externo que é acoplado na placa por meio de pinos. De modo geral, o circuito permite que o motor dê meia volta para um lado ou para o outro. Isto é possível alterando-se a resistência que determina a frequência de saída do CI que irá para o pino de controle do motor. Essa seleção da resistência (e sentido que o motor girará) é determinado pelo Sinal 1 e Sinal 2. Estes sinais de controle acionam um relê que fecha a ligação entre a resistência e o CI. Vale lembrar que o motor funcionará apenas enquanto houver sinal de entrada, ou seja, ele não necessariamente dará a volta completa.

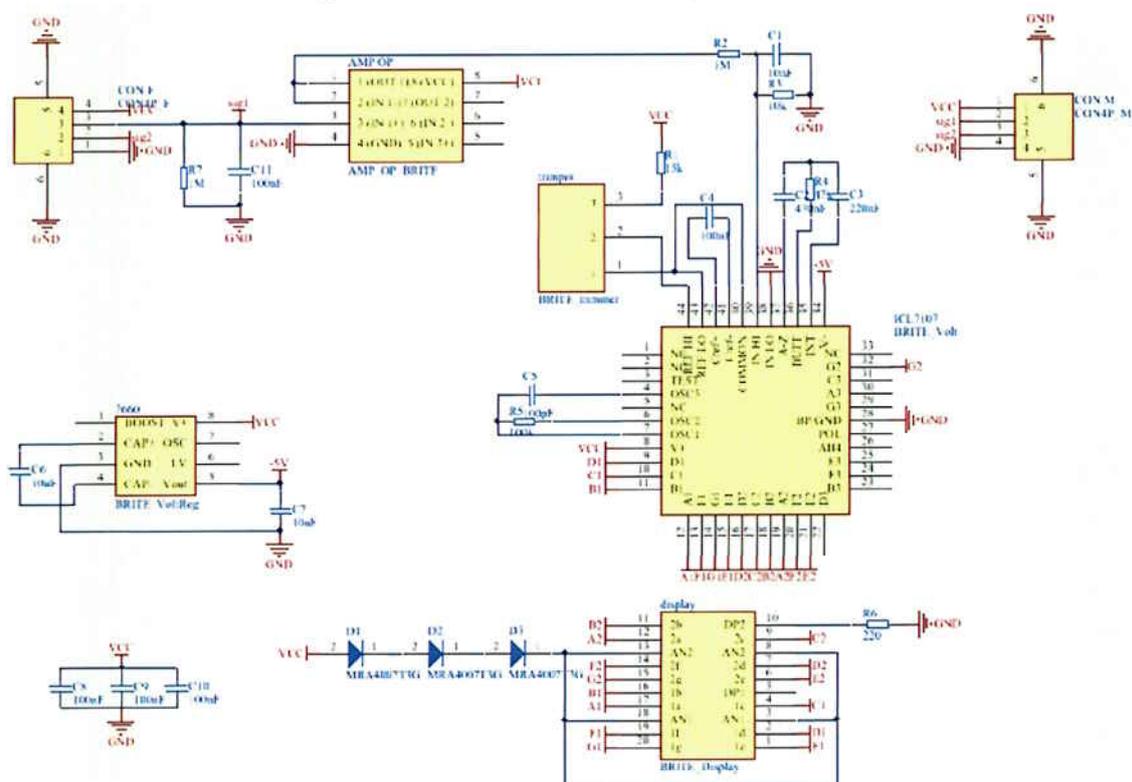
Figura 54 - Módulo Servo Motor



Fonte: Autores

8.3.6 Módulo Voltímetro

Figura 56 - Módulo Voltímetro Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

O Módulo Voltímetro permite a visualização nos displays de 7 segmentos o valor da tensão de entrada do módulo, em um intervalo entre 0V e 5V. O circuito utiliza-se de conversores analógico-digital e CIs que realizam a lógica da conversão para os displays. Além disso, um dos CIs precisa de -5V, que é fornecido pelo 7660.

Figura 57 - Módulo Voltímetro

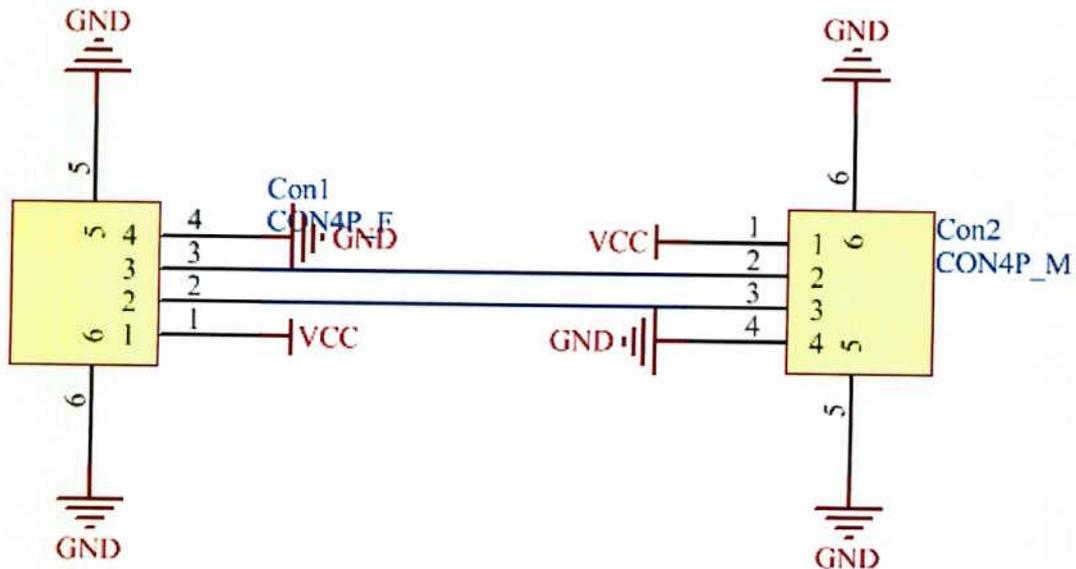


Fonte: Autores

8.4 Módulos de conexão

8.4.1 Módulo Inversor de Sinais de Controle

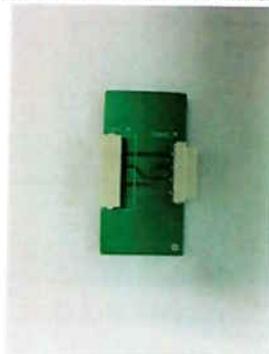
Figura 58 - Módulo Inversor de Sinais de Controle Esquemático



Fonte: Autores (Altium)

Para possibilitar a inversão de posições do Sinal 1 com o Sinal 2, o Módulo Inversor de Sinais de Controle basicamente troca as posições das trilhas nas quais os sinais de controle percorrem os módulos, sem alterar a alimentação nem o terra. Este módulo possibilita a utilização conjunta de dois módulos.

Figura 59 - Módulo Inversor de Sinais de Controle



Fonte: Autores

8.4.2 Módulo Fio

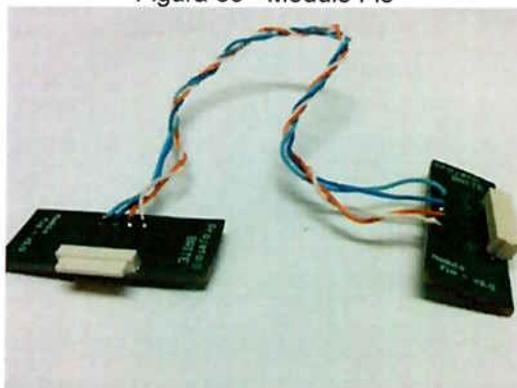
O Módulo Fio permite uma flexibilização de encaixe dos módulos. Este módulo é composto de duas placas: uma com conector fêmea e o outro com conector macho. Ligando eles, existe 4 fios com extensões variáveis que permitem ligar módulos com maior distância. Este módulo é fundamental para a criação de circuitos que não necessitem que um módulo fique perto um do outro.

Por exemplo:

Módulo Fonte USB + Módulo Fio + Módulo Botão + Módulo Fio + Módulo Buzzer

Com essa configuração, esse circuito poderia estar conectado na entrada USB de um computador (Módulo Fonte USB) em um quarto, o Módulo Botão na cabeceira da cama e por fim o Módulo Buzzer na sala de estar. Uma pessoa acamada poderia utilizar esse circuito para chamar alguém caso necessite de algo ou de alguma ajuda.

Figura 60 - Módulo Fio



Fonte: Autores

9 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O projeto visava apresentar uma nova ferramenta nas áreas englobadas no STEM, em especial a área da educação com foco em eletrônica. Para isso foi proposto a criação de diversos módulos conectáveis entre si, cada um implementando um circuito com uma certa função, e que quando conectados poderiam possibilitar inúmeras combinações de circuitos mais complexos. Os usuários poderiam utilizar os circuitos montados para executar alguma função, estimulando assim a criatividade além de promover o interesse na área da eletrônica. Durante a elaboração dos requisitos de marketing necessários para atingir o objetivo foram levantados os seguintes itens:

- facilidade de uso e de conexão entre os módulos;
- portabilidade dos módulos;
- boa autonomia energética;
- baixo custo;
- boa aparência;
- apelo lúdico e educacional;
- imunes a erros de conexão.

Ao final do trabalho, dentre os itens listados acima, obtivemos módulos com tamanho adequado para a aplicação (tamanho compacto para montagem, mas suficiente para visualização dos componentes), uma boa autonomia (utilizando a bateria de 9V, a autonomia do circuito é longa dado que o regulador de tensão da entrada é de 5V), aparência dos módulos profissional (já que foram encomendados com uma empresa especializada em fabricação de PCB's), e o conector utilizado previne os usuários de cometerem erros de ligação. O custo para a fabricação dos módulos pode ser reduzido caso fossem fabricadas em maior quantidade, nesse trabalho foram fabricados apenas protótipos.

A questão da padronização dos módulos por cores não foi implementada por se tratar de um protótipo inicial, a empresa contratada para a confecção das placas de circuito impresso possibilita a utilização de diferentes cores para os PCB's, porém não o foi feito por questões econômicas, já que em um mesmo pedido foram comportados mais de um módulo diferente. O apelo lúdico e a

funcionalidade educacional mostraram-se bem promissores, uma vez que houve demonstração de interesse pelo projeto por profissionais e empresa de educação.

Além disso foram levantados os seguintes requisitos de engenharia para o projeto:

- módulo de baixo consumo energético;
- componentes eletrônicos utilizados de fácil acesso;
- tamanho fixo e pequeno dos módulos;
- módulos robustos;
- deveria haver módulos de entrada/sensores e módulos de saída/atuadores;
- deveria haver informações sobre os circuitos implementados nos módulos.

Todos os requisitos de engenharia listados acima foram cumpridos, começando pelo baixo consumo energético. Uma montagem de um circuito com Módulo Fonte Bateria + Módulo Dimmer + Módulo Bargraph, por exemplo, consome menos do que 45 mW, abaixo do requisitado. Os componentes eletrônicos utilizados foram adquiridos em um grande distribuidor, sendo que todos eles estão disponíveis em grandes quantidades para compra.

Os módulos foram desenhados para que tivessem uma dimensão de largura fixa de 4 centímetros e comprimento variável dependendo da complexidade do circuito, que foram projetados para que coubessem dentro dessas dimensões. Em geral os módulos confeccionados são robustos pois seus tamanhos não são grandes. Como as placas de circuito foram encomendadas, foi possível também aplicar uma camada de silkscreen contendo informações dos circuitos em cada módulo. No total foram feitos 17 módulos, dentre eles há módulos de entrada ou sensores e módulos de saída ou atuadores, além dos módulos de energia e módulos de conexão.

REFERÊNCIAS

- (1) ONU. Índice de Educação do mundo publicado pela ONU em 2009, sendo o período analisado de até 2007. Disponível em: <<http://www.onu.org.br>>. Acesso em: 18 mar. 2015.
- (2) O termo STEM possui várias referências, mas inicialmente foi mencionado pela diretora do United States National Science Foundation, Rita R. Colwell, sendo posteriormente amplamente difundido. Disponível em: <<https://www.nsf.gov/news/speeches/colwell/rc011108dtsnas.htm>>. Acesso em: 18 mar. 2015.
- (3) BDEIR, Ayah. **littleBits: DIY Electronics for Prototyping and Learning**. Disponível em: <<http://littlebits.cc/>>. Acesso em: 19 mar. 2015.
- (4) LPFK LASER; ELETRONICS AG. Disponível em: <<http://www.lpkf.com>>. Acesso em: 22 jun. 2015.
- (5) I2C. Disponível em: <http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2015.
- (6) ALTIUM: Engineering Innovation for PCB Design. Disponível em: <<http://www.altium.com>>. Acesso em: 18 jun. 2015.
- (7) SEIDLE, Nathan. **Sparkfun Electronics: Online retail store**. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/>>. Acesso em: 07 mai. 2015.
- (8) SNAP CIRCUITS: Electronic and Educational Toys. Disponível em: <<http://www.snapcircuits.net/>>. Acesso em: 07 mai. 2015.
- (9) MOUSER ELETRONICS. Disponível em: <<http://br.mouser.com>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

(10) **GANTTPROJECT**: Software livre. Disponível em: <<http://www.ganttproject.biz>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

(11) **PCB WAY**: PCB Prototype the Easy Way. Disponível em: <<http://www.pcbway.com>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

(12) **LME – LABORATÓRIO DE MICROELETRÔNICA**: Disponível em: <<http://www.lme.usp.br/>>. Acesso em: 22 out. 2015.

(13) **DREMEL SAW-MAX**: Disponível em: <<http://www.dremelsawmax.com.br/>>. Acesso em: 22 out. 2015.

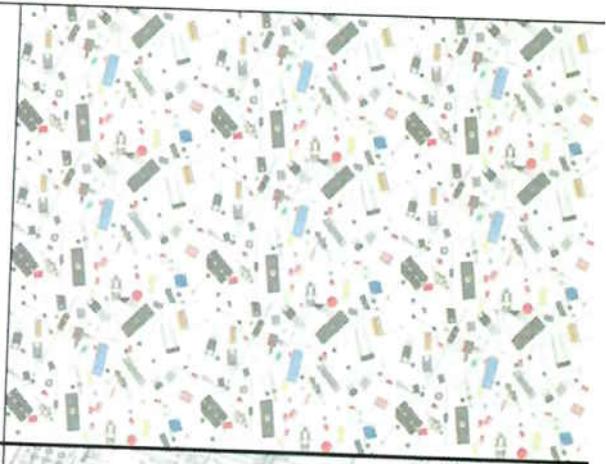
(14) **PULLUP**: Disponível em: <<http://www.pullup.com.br/>>. Acesso em: 22 out. 2015.

APÊNDICE A - LISTA DE COMPONENTES

| Lista Mouser | | | |
|------------------------|----------|------------------------|-------------------|
| Componente | Valor | MPN | Quantidade mínima |
| conector bateria | | RAPC722X | 1 |
| diodo | | MRA4007T3G | 6 |
| capacitor eletrolítico | 10 uF | TAJD106K025RNJ | 2 |
| regulador tensão | 5 V | LM1117IMP-5.0/NOPB | 1 |
| led | vermelho | SML-LXT0805IW-TR | 4 |
| resistor | 330 | CRCW0805330RFKEA | 4 |
| conector macho | | 1.09159E+14 | 17 |
| conector fêmea | | 2.29159E+14 | 15 |
| chave | | FSM4JRT | 2 |
| resistor | 1 mega | CRCW08051M00FKEA | 18 |
| led | verde | SML-LXT0805GW-TR | 3 |
| amp op | | LM358MX | 12 |
| conector usb | | ZX62R-AB-5P | 1 |
| resistor | 10k | CRCW080510K0FKEA | 28 |
| resistor | 100 | CRCW0805100RFKEA | 3 |
| buzzer | | CT-1205CL-SMT-TR | 1 |
| ESD | | ESD9B5.0ST5G | 8 |
| capacitor eletrolítico | 47 uF | TPSD476K025R0150 | 2 |
| capacitor eletrolítico | 100 uF | TPSD107M020R0085 | 1 |
| trimmer | 10 k | 3214W-1-103E | 3 |
| resistor | 1 k | CRCW08051K00FKEA | 7 |
| transistor | nnp | BC847BS,135 | 5 |
| CI 555 | | NE555 | 1 |
| capacitor | 0.01 uF | C0603C103K4RACTU | 1 |
| resistor | 100k | CRCW0805100KFKEA | 3 |
| sensor de força | | MF01-N-220-A01 | 1 |
| resistor | 499 | CRCW0805499RFKEA | 2 |
| resistor | 20k | CRCW080520K0FKEA | 5 |
| resistor | 470 | CRCW0805470RFKEA | 5 |
| led | amarelo | SML-LXT0805YW-TR | 1 |
| capacitor | 0.8 pF | C0603C758C5GACTU | 1 |
| capacitor | 1000 pF | C0603H102J1GACTU | 2 |
| capacitor | 100nF | C0603C104K4RACTU | 36 |
| chave 2 circuitos | | AYZ0202AGRLG | 1 |
| trimmer | 100 k | 3214W-1-104E | 1 |
| sensor luz | | EL-PT15-21C | 1 |
| transistor | pnp | BC857BS,115 | 3 |
| resistor | 10 | CRCW080510R0FKEA HP | 7 |
| Schmitt-trigger | | SN74LVC3G17DCUR | 2 |

| | | | |
|---------------------------|-------------|---------------------|---|
| Schotkky diode | | PMEG2010EA,115 | 2 |
| or | | MC74HC1G32DFT1G | 1 |
| microfone | | ANM-5254L-R | 1 |
| resistor | 8,2k | CRCW08058K20FKEA | 1 |
| resistor | 150k | CRCW0805150KFKEA | 1 |
| resistor | 220 | CRCW0805220RFKEA | 2 |
| capacitor | 10uF | GRM188R61C106KAA | |
| trimmer | 500k | LD | 5 |
| display 7 segmentos | | 3214W-1-504E | 1 |
| CI | | HDSM-291C | 1 |
| regulador tensão | | ICL7107CM44Z | 1 |
| capacitor | 470nF | ICL7660SIBAZT | 1 |
| capacitor | 220nF | C0603C474K4RACTU | 1 |
| capacitor | 100pF | C0603C224K4RACTU | 1 |
| resistor | 47k | C0603C101K5GACTU | 1 |
| resistor | 15k | CRCW080547K0FKEA | 1 |
| microcontrolador | | CRCW080515K0FKEA | 1 |
| capacitor | 27pF | ATtiny45-20SU | 1 |
| cristal | 8Mhz | 0201YA270JAT2A | 1 |
| chave x | | 7B-8.000MAAJ-T | 1 |
| Transistor mosfet | | 103-5042-EV | 1 |
| controlador pic16f88 | | BSS138 | 1 |
| conversor de 5V para 3.3V | | PIC16F88-I/SO | 2 |
| conversor ad/dc (1) | | UA78M33CDCYR | 2 |
| conversor ad/dc (2) | | MCP4706A0T-E/CH | 1 |
| buzzer | 5V | DAC081S101CIMK/NO | 1 |
| display | anodo comum | PB | 1 |
| relê | 4,5V | CT-1205CL-SMT-TR | 1 |
| resistor | 68k | ACDA02-41SURKWA-F01 | 1 |
| resistor | 33k | G6L-1F-DC4.5 | 2 |
| resistor | 4k7 | CR0805-FX-6802GLF | 1 |
| Driver do motor | | CR0805-FX-3302ELF | 1 |
| Cap eletrolítico | 4.7uF | CR0805-FX-4701GLF | 1 |
| | | LB1836M-TLM-E | 1 |
| | | TPSD475K035R0700 | 1 |

BRNTE



Conectando os módulos

página 4

Módulos fonte de energia

- Fonte bateria página 5
- Fonte USB página 6

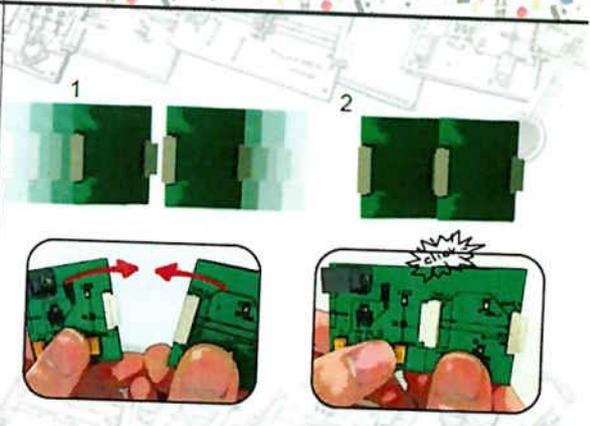
Módulos de entrada

- Botão página 7
- Dimmer página 8
- Astável página 9
- Sensor de força página 10

Módulos de saída

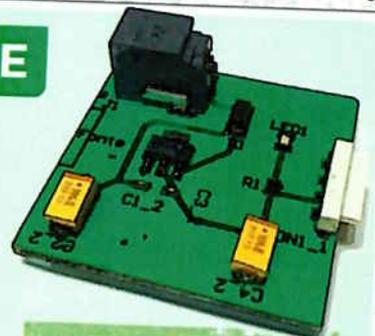
- Led página 15
- Bargraph página 16
- Servo motor página 17
- Buzzer página 18
- Voltmetro página 19

- Sensor de luz página 11
- OR página 12
- Inversor de sinais página 13
- Fio página 14



FONTE

Use sempre a Fonte no começo de todos os circuitos!



Basta conectar uma bateria de 9V nesse módulo. Ele fornece energia para o resto do circuito!

6

FONTE USB

Não quer usar uma bateria? Use então a Fonte USB!



Basta conectar o cabo em uma porta USB comum. Ele também fornece energia para o resto do circuito!

6

BOTÃO



Mantenha o botão pressionado para fazê-lo funcionar!

Cada botão controla um sinal. Experimente usar com o LED!

7

DIMMER



Experimente utilizar o Bargraph para entender o funcionamento do Dimmer.

Gire no sentido horário para aumentar o nível do sinal!

8

ASTÁVEL



Faça um piscar-piscar com o Astável e LED!

Gire o parafuso do trimpot para mudar a frequência de oscilação do módulo.

9

SENSOR FORÇA

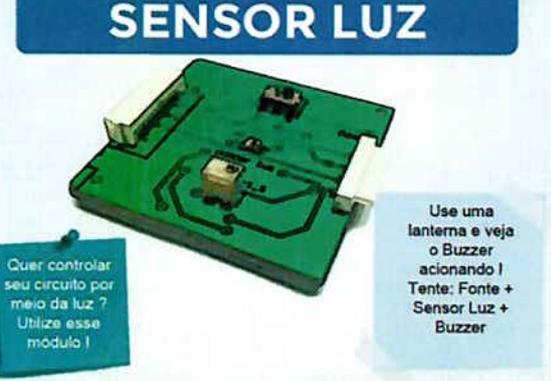


Teste sua força com esse módulo!

O Bargraph combina bastante com esse Sensor de Força!

10

SENSOR LUZ



Quer controlar seu circuito por meio da luz? Utilize esse módulo!

Use uma lanterna e veja o Buzzer acionando! Tente: Fonte + Sensor Luz + Buzzer

11

OR



Na lógica OR,
 $0 + 0 = 0$
 $0 + 1 = 1$
 $1 + 0 = 1$
 $1 + 1 = 1$
 Não confunda!

Vamos aprender sobre portas lógicas! Utilize a Fonte + Botão + OR + LED e veja!

12

INVERSOR SINAL 1 COM SINAL 2

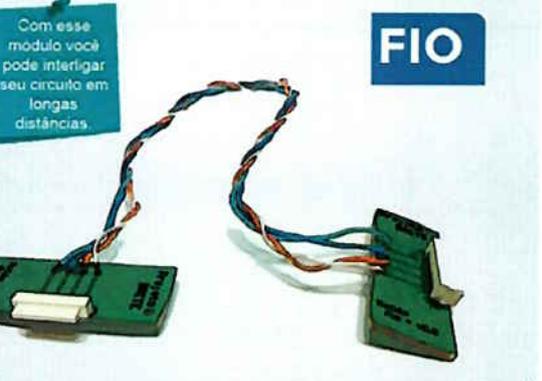


Esse módulo permite a utilização dos dois sinais da placa!

Confira testando com a Fonte + Botão + Inversor Sinal 1 com Sinal 2 + LED e veja a mudança!

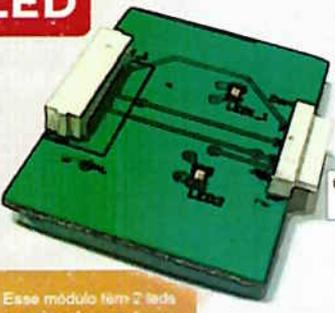
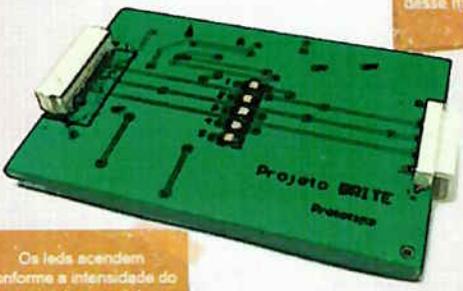
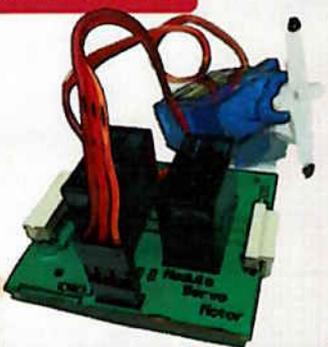
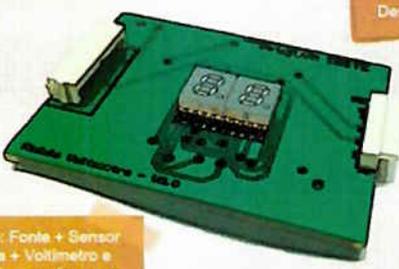
13

FIO



Com esse módulo você pode interligar seu circuito em longas distâncias.

14

| | |
|---|---|
| <h2>LED</h2>  <p>O módulo LED é perfeito para visualizar o funcionamento do seu circuito!</p> <p>O led vermelho é o sinal 1 e o verde é o sinal 2!</p> <p>Esse módulo tem 2 leds que acendem conforme os sinais 1 e 2.</p>  <p>15</p> | <h2>BARGRAPH</h2>  <p>Descubra a intensidade do sinal com o uso desse módulo!</p> <p>Os leds acendem conforme a intensidade do sinal de entrada!</p> <p>16</p> |
| <h2>SERVO MOTOR</h2>  <p>Quer um motor? Fonte + Botão + Servo Motor e diverte-se!</p> <p>O Servo Motor precisa de 2 entradas. Cada uma delas gira o motor para um lado.</p> <p>17</p> | <h2>BUZZER</h2>  <p>O módulo Buzzer é um ótimo indicador sonoro para seus circuitos!</p> <p>BZZZZZ!</p> <p>Uma campainha? Que tal! Fonte + Botão + Buzzer</p>  <p>18</p> |
| <h2>VOLTÍMETRO</h2>  <p>Já se perguntou qual a tensão de saída? Descubra!</p> <p>Monte: Fonte + Sensor Força + Voltímetro e descubra sua força em números!</p> <p>19</p> |  |