

Benjamin Teng Lin

**Desenvolvimento de *hardware* de interface
físico-digital baseado em jogos de tabuleiro**

São Paulo

2017

Benjamin Teng Lin

**Desenvolvimento de *hardware* de interface
físico-digital baseado em jogos de tabuleiro**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo como requi-
sito para a conclusão do curso de graduação
em Engenharia Mecatrônica, junto ao De-
partamento de Engenharia Mecatrônica e de
Sistemas Mecânicos (PMR)

Orientador: Prof. Dr. Jun Okamoto

São Paulo

2017

Esta monografia é apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Engenharia Mecatrônica na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. É o produto do nosso próprio trabalho, exceto onde indicado no texto. A monografia pode ser livremente copiada e distribuída desde que a fonte seja citada.

FICHA CATALOGRÁFICA

Lin, Benjamin Teng

Desenvolvimento de *hardware* de interface físico-digital baseado em jogos de tabuleiro/

Lin, Benjamin Teng. – São Paulo, 2017-

25 p.

Monografia – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos (PMR), 2017.

1. HARDWARE 2. JOGOS 3. WIRELESS 4. EDUCAÇÃO I. Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos
II. Lin, Benjamin Teng
-

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à todos que tornaram este projeto possível, em especial: ao programa AWC do Instituto TIM, por financiar os custos de prototipagem e mentorar a equipe no processo de criação de empresa. Aos membros da equipe no programa AWC Bruno Ohashi, Roberto Haruo e Pedro Neves, por terem acreditado na visão do produto e entrado nessa comigo. Ao Bruno Alan e Thiago Alves, membros do laboratório onde foi feito o projeto, pelo suporte no dia a dia. Ao professor orientador Jun Okamoto, por sempre exigir excelência de seus alunos.

RESUMO

Cada vez mais a tecnologia tem se tornado menos genérica e mais humana. Na educação, muitas iniciativas de inserção de tecnologia estão em andamento, sendo a área de produtos de hardware uma das que mais crescem. Com a queda de preços de componentes eletrônicos, as vantagens em se ter *hardware* dedicado se torna cada vez mais justificável, portanto, este projeto desenvolveu uma plataforma de *hardware* dedicado a aplicações de ensino baseado no modelo de jogos de tabuleiro. Inicialmente é feito um estudo das vantagens e desvantagens dos jogos de tabuleiro tradicionais e de kits eletrônicos educativos, uma vez que a plataforma desejada é uma mistura dos dois. A partir disso os requisitos do projeto foram definidos, aspectos como tipos de interatividade, compatibilidade com sistemas existentes e parâmetros de forma e dimensão. A solução final tem como componentes: os blocos, o tabuleiro, o carregador e o dispositivo mestre. Com isso, as tecnologias necessárias e os componentes foram escolhidos e adquiridos. Foram projetados e fabricados várias iterações do bloco e do tabuleiro. As funcionalidades fundamentais da plataforma: detecção de casa, orientação e clique, foram implementadas em software, confirmando a robustez e facilidade de operação da plataforma.

Palavras-chave: Hardware, Jogos, Wireless, Educação

ABSTRACT

Technology has become more human and less generic over time. In education, technology is being inserted in many different ways by various initiatives, and hardware based products are growing fast. With the cost of components constantly going down, it is increasingly easy to justify the advantages of having dedicated hardware, therefore, this project has developed a hardware based platform dedicated to pedagogic ends based on the boardgame framework. Initially a research of the advantages and disadvantages of boardgames and electronic kits is done, as the desired platform is a mix of both worlds. From there, project requirements were defined: aspects of interactivity, compatibility with existing systems and form and size parameters. The final solution has the following components: the blocks, the board, the charger and the master device. Then, the necessary technology and components were chosen and acquired. Many iterations of the blocks and board were fabricated. The fundamental functionalities of the platform: orientation, click and position detection, were implemented in software, confirming the robustness and ease of operation of the platform.

Key-words: Hardware, Games, Wireless, Education

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Metodologia	2
2	KITS DE ROBÓTICA E COMPUTAÇÃO FÍSICA	3
3	PROJETO DA SOLUÇÃO	7
3.1	Análise de requisitos	7
3.1.1	Sistema de feedback e peça universal	8
3.1.2	Métodos de Input	8
3.1.3	Dimensões e forma da peça	8
3.1.4	Tabuleiro endereçado	8
3.1.5	Tabuleiro impresso	8
3.1.6	Número de peças e casas	9
3.1.7	Comunicação	9
3.1.8	Consumo de energia	9
3.2	Arquitetura	9
4	DESENVOLVIMENTO DE HARDWARE	10
4.1	Componentes principais do bloco	10
4.2	Componentes secundários do bloco	12
4.3	Dispositivo mestre	12
4.4	Projeto, fabricação e montagem de PCBs	13
4.4.1	Primeira versão	13
4.4.2	Segunda versão	14
4.4.3	Terceira versão	15
4.5	Projeto do tabuleiro	16
4.5.1	Primeira versão	16
4.5.2	Segunda versão	16
4.5.3	Terceira versão	17
4.5.4	Quarta versão	18
4.6	Elementos estruturais do bloco	18
4.6.1	Case externo, suporte da bateria e tampa	18
4.6.2	Protetor de tela	19
4.7	Carregador de blocos	19
5	DESENVOLVIMENTO DE <i>SOFTWARE</i>	21

6	CONCLUSÕES	23
---	----------------------	----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Programmable Brick	3
Figura 2 – Cricket do MIT	4
Figura 3 – MIT Tower	4
Figura 4 – Arduino Lilypad	5
Figura 5 – Sifteo Cubes	6
Figura 6 – Esquemático dos componentes principais	10
Figura 7 – Esp8266 12F	10
Figura 8 – Tela OLED	11
Figura 9 – Bateria LiPo 3.7V	11
Figura 10 – Sensor hall analógico	11
Figura 11 – Esquemático de componentes secundários	12
Figura 12 – ESP32	12
Figura 13 – Raspberry Pi Zero W	13
Figura 14 – Primeira versão dos PCBs	13
Figura 15 – Montagem dos circuitos na protoboard	14
Figura 16 – Segunda versão dos PCBs	15
Figura 17 – Terceira versão dos PCBs	16
Figura 18 – Tabuleiro visual construído para ter noção das dimensões	16
Figura 19 – Primeiro tabuleiro de ímãs	17
Figura 20 – Terceira versão do tabuleiro, mais fino e mais leve	18
Figura 21 – Peças de suporte impresso em 3D	19
Figura 22 – Protetores de tela de acrílico sendo pintados	19
Figura 23 – As duas iterações do carregador de blocos	20
Figura 24 – Protótipo construído para testar o software de comunicação	21
Figura 25 – software de leitura de endereço e rotação em ação	22
Figura 26 – Jogos diversos sendo executados na plataforma	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela comparativa das vantagens	7
Tabela 2 – Tabela comparativa das desvantagens	7

1 INTRODUÇÃO

Vivemos hoje em uma sociedade digital, onde a computação tem transformado a forma como as pessoas realizam as atividades do dia a dia, inclusive na educação da nova geração, especialmente nas disciplinas STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics). Hoje, há um consenso geral de que o método tradicional de ensino já não é o suficiente para preparar os jovens para o mundo moderno, que é complexo e está em constante mudança. Instituições privadas, ONGs e governos têm buscado resolver estas questões trazendo tecnologia de ponta para a sala de aula (1). O poder disruptivo de dispositivos sem fio, robótica, internet das coisas, impressão 3D, wearables e a diminuição de custos de hardware têm fornecido ferramentas para uma onda de métodos de ensino baseado em projetos mão-na-massa, dentro e fora da sala de aula. Makerspaces e laboratórios de inovação estão surgindo no mundo inteiro para atender à demanda por espaços colaborativos e ferramentas de criação, e com isso, surgem oportunidades para novos produtos.

Nos últimos anos, kits baseados em microcontroladores e dispositivos de computação física surgiram e evoluíram para serem ferramentas poderosas de ensino (2). Esses kits constroem uma ponte entre o mundo físico e o virtual, extraíndo o poder computacional para o mundo tangível, trazendo o conhecimento para algo mais prático e próximo da realidade. Produtos como Lego Mindstorm e Arduino são nomes comuns na pedagogia moderna, encontrando seu lugar nos currículos escolares na forma de aulas de programação, robótica e até mesmo artes. Porém, a natureza dessas ferramentas ainda é muito atrelada a disciplinas STEM, limitando portanto a sua penetração em currículos mais tradicionais, sendo tratados como matérias extra-curriculares na maioria dos casos.

Apesar da tecnologia digital ser algo recente, a arte do ensino é tão antiga quanto a própria humanidade. Atualmente, muito esforço está sendo concentrado em encontrar maneiras de integrar as duas áreas, tanto que foi cunhado um termo popular para se referir a empresas que se dedicam a isso, são as chamadas EdTechs. Como sumarizado por Treher (3) , “a internet e a tecnologia estão comandando uma mudança nos métodos de ensino utilizados. Porém, cada vez mais a tecnologia tem sido visto como uma solução, ao invés de um veículo que potencializa e complementa métodos que já funcionam”. E por isso, Treher não defende uma tecnologia específica, mas um framework de ensino que incorpora valores inerentes ao processo de aprendizagem. Para ela, um framework que junta vários desses valores é uma invenção humana milenar: os jogos de tabuleiro.

Principais valores pedagógicos que Treher identifica nos jogos de tabuleiro:

- Criação de um ambiente propenso a interação social e trabalho em equipe.

- A possibilidade de associação de conceitos abstratos e complexos com peças físicas e elementos gráficos.
- Uso de mecânicas de jogo redundantes e repetitivas que facilitam a retenção de informações.
- O contexto lúdico torna o processo mais prazeroso e motivador.

Hoje, além de jogos pedagógicos, jogos de tabuleiro também são utilizados como ferramenta de treinamento profissional, inclusive em hospitais (4), fábricas (5) e até mesmo agências de inteligência (6). Com o advento de computadores pessoais, celulares e tablets, os jogos de tabuleiro ganharam versões digitais que potencializaram alguns desses valores, mas ao mesmo tempo, também anularam outras. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar as vantagens e desvantagens de ferramentas digitais e de jogos de tabuleiro, e com isso, projetar uma nova ferramenta pedagógica que se aproveite do melhor dos dois mundos.

1.1 Metodologia

Inicialmente analisou-se os elementos essenciais de jogos de tabuleiro, as peças e o tabuleiro, e de que forma um sistema digital poderia interagir com elas. Após definir a interface físico-digital, foram analisadas as tecnologias que possibilitariam tais interações, e depois, foram estudadas documentações técnicas, custos e disponibilidades de componentes para construir o hardware necessário. A partir disso, protótipos foram construídos para validar os métodos de interação propostos e a viabilidade de fabricação. Os protótipos foram fabricados e montados nos laboratórios da Escola Politécnica e o funcionamento dos mesmos foi verificado com desenvolvimento e programação de software básico.

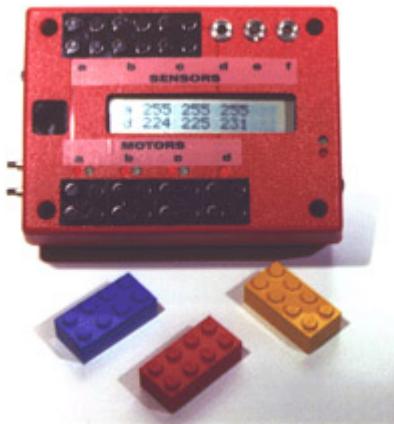
2 KITS DE ROBÓTICA E COMPUTAÇÃO FÍSICA

Como analisado por Blikstein em seu artigo sobre a evolução do design de tangíveis programáveis aplicados à educação, os dispositivos desenvolvidos nos últimos 30 anos podem ser classificados em 4 gerações, cada geração construindo em cima dos aprendizados das iterações passadas e das tecnologias que foram surgindo com o tempo. Um resumo da classificação feita por Blikstein encontra-se a seguir.

A primeira geração foi iniciada pela criação do LEGO/Logo por pesquisadores do MIT Media Lab nos anos 80, onde foi desenvolvido o Programmable Brick. O dispositivo possibilitava às crianças dar vida a suas criações de LEGO usando a linguagem de programação Logo e vários atuadores e sensores. A plataforma foi um sucesso e seus criadores atribuíram isso a três fatores: o sistema colocou a criança no controle, ofereceu múltiplos caminhos de aprendizagem e encorajou a construção de um senso de comunidade quando executado em atividades em grupo.

Figura 1 – Programmable Brick

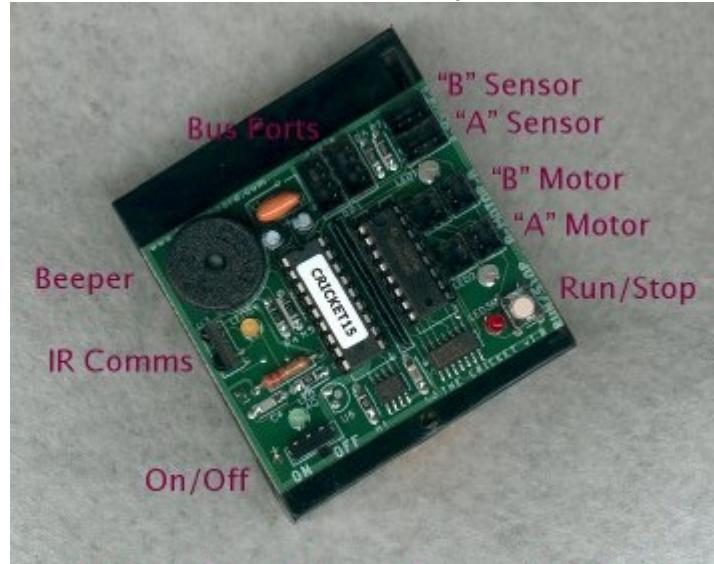
Fonte: Site do MIT.



A segunda geração foi marcado pelo Cricket, uma plataforma baseada no Programmable Brick, também desenvolvido pelo MIT. A principal diferença em relação à geração anterior foi a introdução do conceito de uso geral de microcontroladores, dando aos usuários maior acesso aos processos internos, ao invés de apenas programar uma “caixa preta”. O Cricket tinha dois sensores embutidos, duas saídas genéricas, drivers de motores, bateria e usava uma versão do Logo para ser programado. O objetivo dos criadores era oferecer uma plataforma para uso no ensino da engenharia e ciência, acreditando que as crianças precisavam interagir com o mundo real ao invés de simples simulações.

Figura 2 – Cricket do MIT

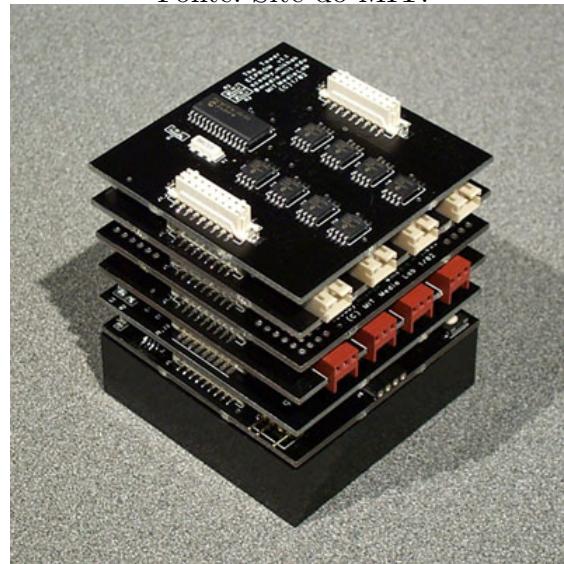
Fonte: Site da Handyboard.



A terceira geração foi marcada por iniciativas que tinham como meta a disseminação da computação física para outras áreas do conhecimento além da engenharia e ciência. A principal escolha de design que possibilitou isso foi a modularização, levada muito a sério pelos criadores do MIT Tower, um kit de construção versátil que podia ser usado por qualquer pessoa, independente de sua formação acadêmica. O sistema aceitava várias linguagens de programação e oferecia muitas placas de expansão que adicionavam novas funcionalidades ao sistema, além de aceitar conexão com periféricos padrões como mouse e teclado. O Arduino foi parte dessa geração e continua muito popular hoje em dia.

Figura 3 – MIT Tower

Fonte: Site do MIT.



A quarta e atual geração começou a aproximadamente 10 anos atrás, quando

componentes eletrônicos chegaram a tal nível de miniaturização e quedas de preço que tornou-se possível a criação de plataformas das mais diversas formas. Esta geração se caracteriza, portanto, pelo design de produtos específicos para resolver problemas particulares. Um exemplo é o LilyPad Arduino, focado em engajar o público feminino no aprendizado da eletrônica e programação através de uso de fios de costura condutores e microcontroladores vestíveis.

Figura 4 – Arduino Lilypad

Fonte: Site da Today and Tomorrow.



David Merrill et al. (7) desenvolveram em 2011 no MIT Media Labs um sistema chamado Sifteo Cubes, o projeto virou um produto comercial direcionado a crianças, onde blocos com telas coloridas rodavam jogos de gráfico simples e respondiam ao serem viradas, clicadas, chacoalhadas, inclinadas ou colocadas juntas. Munidos de acelerômetro, NFC, comunicação por radiofrequência e bateria recarregável, os cubos custavam 30 dólares cada e eram limitados quanto ao número de módulos que se podia conectar juntos (12 no máximo). Na primeira geração do produto, os jogos rodavam no computador através de um adaptador USB de RF, na segunda geração, a favor da portabilidade, rodava em um microprocessador dedicado que vinha com o kit.

Figura 5 – Sifteo Cubes

Fonte: Site do Instructables.



3 PROJETO DA SOLUÇÃO

3.1 Análise de requisitos

Com base nos estudos apresentados anteriormente, foram identificadas os principais fatores que tornam jogos pedagógicos e kits eletrônicos ferramentas de ensino de sucesso:

Tabela 1 – Tabela comparativa das vantagens

Kits eletrônicos	Jogos de tabuleiro
Liberdade para exploração, vários caminhos de aprendizagem. Não existe uma única maneira de realizar uma tarefa.	Conteúdo e mecânicas de jogo formatados de maneira a maximizar a retenção de informações
Feedback digital, o aluno é capaz de visualizar o resultado de suas ações instantaneamente	Feedback de colegas, os alunos se ajudam para entender os conceitos
Poder computacional e componentes modulares permitem ao aluno explorar conceitos complexos sem necessariamente entendê-los completamente	Trabalha habilidades sociais essenciais a qualquer área do conhecimento: comunicação, liderança e trabalho em equipe
Presença de peças físicas e elementos gráficos ajudam na associação de conceitos abstratos e complexos	

Como a proposta é de que o digital e o físico se complementem, também foram levantadas as limitações e desvantagens de cada um.

Tabela 2 – Tabela comparativa das desvantagens

Kits eletrônicos	Jogos de tabuleiro
Cada kit é limitado por seus componentes, para experiências diferentes, é necessário comprar mais kits ou componentes.	Todos os elementos são estáticos, exigindo que todos os processos sejam feitos pelos jogadores, mesmo aqueles que não trazem nenhum benefício pedagógico ou lúdico
Grande maioria ainda é limitado a conteúdos de disciplinas STEM	Cada jogo serve para uma única aplicação, ou seja, baixo custo-benefício.
A necessidade de treinamento adequado dos professores no uso dos kits ainda é um obstáculo para a implementação em larga escala em escolas.	Processo de aprendizagem do jogo demorado e entediante, o padrão sendo ler o manual de regras, e mesmo assim, sujeito a interpretações erradas do jogo.

Os elementos essenciais de um jogo de tabuleiro são as peças e o tabuleiro, portanto este projeto propôs manter estes dois elementos no plano físico. Do lado digital, pensando na flexibilidade e dinamismo desejado, foi idealizado o conceito de uma peça “universal” que simulasse qualquer peça física ou conceito abstrato. Para complementar a peça, seria necessário um tabuleiro que pudesse ser reconfigurado para diferentes aplicações e interagisse com essas peças espacialmente.

3.1.1 Sistema de feedback e peça universal

A interface gráfica revolucionou a interação homem-máquina algumas décadas atrás, telas formadas por pixels conseguem transmitir informações de forma rica e intuitiva, e por isso, foi decidido que as peças da plataforma serão essencialmente “blocos de tela”. Dessa maneira, a peça poderá simular a aparência e comportamento de qualquer elemento ou conceito, uma peça “universal” que se transforma em tempo real em resposta às interações do usuário.

3.1.2 Métodos de Input

Os inputs devem ser simples, intuitivos e robustos, exigindo o mínimo de treinamento inicial para o usuário. Considerando o espaço bidimensional de um tabuleiro, definiu-se que a plataforma teria a capacidade de detectar a posição e orientação das peças no tabuleiro, assim, ações como giro do bloco ou deslocamento poderão ser detectadas. Além disso, uma terceira interação é possível ao implementar um botão, podendo detectar cliques, duplo-cliques e cliques longos na superfície do bloco.

3.1.3 Dimensões e forma da peça

A peça deve ter dimensões pequenas para ser facilmente deslocado e rotacionado no tabuleiro com uma mão, porém, grande o suficiente para mostrar informações gráficas significativas. O formato quadrado foi escolhido por evidenciar quatro orientações discretizadas e manter o mesmo formato geométrico em todas elas, facilitando o giro e mantendo o formato das imagens. A altura da peça deve ser mantida ao mínimo, para que não obstrua a visão do tabuleiro.

3.1.4 Tabuleiro endereçado

Para detectar as peças no tabuleiro, a solução mais intuitiva foi criar uma malha matricial, uniforme e discretizada de posições possíveis. Nessas posições estão guardadas as informações de posição e orientação da casa. Como essas informações são fixas, o tabuleiro pode ser construído de forma passiva, ou seja, sem consumo de energia. Além disso, a detecção deve ser sem fio, uma vez que as peças se movem em relação ao tabuleiro.

3.1.5 Tabuleiro impresso

Para que o tabuleiro seja reconfigurável para diferentes aplicações, a parte gráfica do tabuleiro foi separada da parte endereçada, dessa forma, basta trocar a camada superior do tabuleiro para trocar de aplicação, reutilizando a base endereçada.

3.1.6 Número de peças e casas

Por ser uma plataforma destinado às mais diversas aplicações, quanto mais peças e casas, mais flexível. A limitação principal é o tamanho máximo do tabuleiro, que limita o número de casas e que por sua vez, limita a quantidade de blocos. Como cada bloco ocupa em torno de 4cm x 4cm no tabuleiro, uma casa do tabuleiro teria no mínimo 6cm x 6cm, para permitir a rotação da peça sem interferir na casa ao lado. Um tabuleiro de 8 x 8 casas quadradas de 6cm de lado teria uma dimensão total de 48 cm x 48 cm, dentro de padrões de dimensões de tabuleiros existentes. Nesse tabuleiro, assumindo que no máximo as aplicações terão o mesmo número de casas ocupadas e livres, seriam necessário no máximo 32 peças.

3.1.7 Comunicação

Todas as peças fazem parte de uma mesma aplicação, a ação de uma interfere no comportamento do outro, portanto é necessário existir um canal de comunicação entre os blocos a todo momento. Por serem peças móveis, a comunicação deve ser feita sem fio.

3.1.8 Consumo de energia

Novamente, por ser móvel, a peça precisa de uma bateria interna. Inicialmente, para aplicações gerais, deseja-se que a bateria dure pelo menos 1 hora de uso contínuo. Para isso, testes devem ser feitos para analisar o consumo total do bloco e a partir disso estimar a capacidade da bateria necessária, ao mesmo tempo garantindo que o bloco final não extrapole as dimensões máximas desejadas.

3.2 Arquitetura

O sistema de comunicação mestre-escravos já é muito utilizado na indústria devido a sua simplicidade de controle e economia em hardware, centralizando o controle e a carga computacional no mestre. Neste projeto, o mestre processará a aplicação em si e os escravos apenas enviam os inputs dos seus sensores e executam os comandos que o mestre envia.

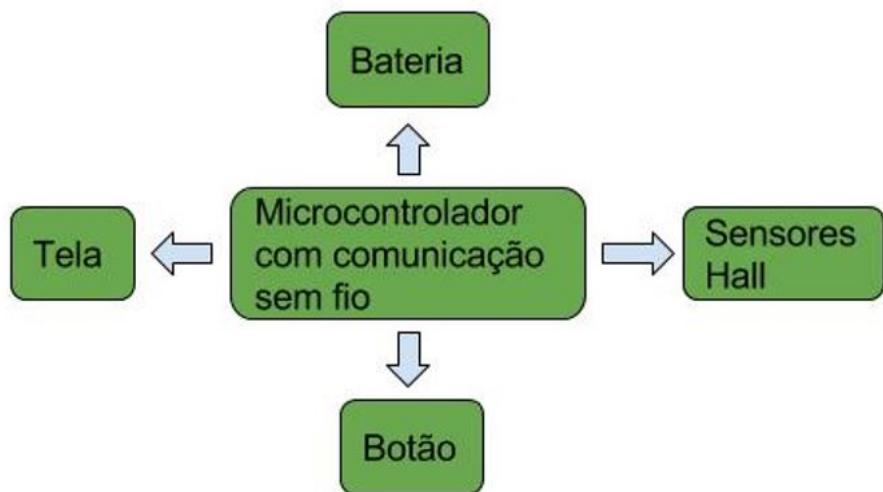
4 DESENVOLVIMENTO DE HARDWARE

4.1 Componentes principais do bloco

Os componentes principais necessários para cumprir os requisitos analisados para o bloco na seção anterior podem ser vistas no esquema da figura 6.

Figura 6 – Esquemático dos componentes principais

Fonte: própria.



O microcontrolador selecionado foi o ESP8266, mostrado na figura 7, que vem em módulos já com a antena de WiFi, 4MB de memória, processador de 32 bits, um ADC de 10 bits e 9 pinos de uso genérico. O ESP8266 foi escolhido devido ao seu preço baixo, tamanho reduzido, comunidade online ativa e capacidades WiFi, além de um processador relativamente potente de 80Mhz.

Figura 7 – Esp8266 12F

Fonte: site da fabricante Expressif.



A tela escolhida foi de tecnologia OLED, fabricado pela Solomon Tech, por ter um ângulo de visão muito boa e usar um driver bem documentado na comunidade maker, o SSD1351. A tela é quadrada, tem 128x128 pixels de resolução, 1,5 polegadas de diagonal e utiliza o protocolo SPI para se comunicar com o microcontrolador. Para acessar os pinos da tela é necessário um conector de 30 pinos de 0,5mm de passo, como pode ser visto na figura 8.

Figura 8 – Tela OLED

Fonte: site do Aliexpress.



A bateria selecionada foi de litio polímero de uma célula, devido à alta densidade energética e facilidade de recarga. Estes fornecem tensão de 3.7V e diversas capacidades, para o projeto foram adquiridos modelos de 700mah.

Figura 9 – Bateria LiPo 3.7V

Fonte: própria.



O sensor hall escolhido para detectar o tabuleiro foi o SS39ET, a versão SMT do sensor popular da Honeywell. Este sensor possui um intervalo de leitura de -1000 a 1000 gauss, sensibilidade de 1,4 mV/Gauss e uma saída analógica proporcional ao campo de 0,95V a 2,25V para uma alimentação de 3,3V.

Figura 10 – Sensor hall analógico

Fonte: site da Digikey.

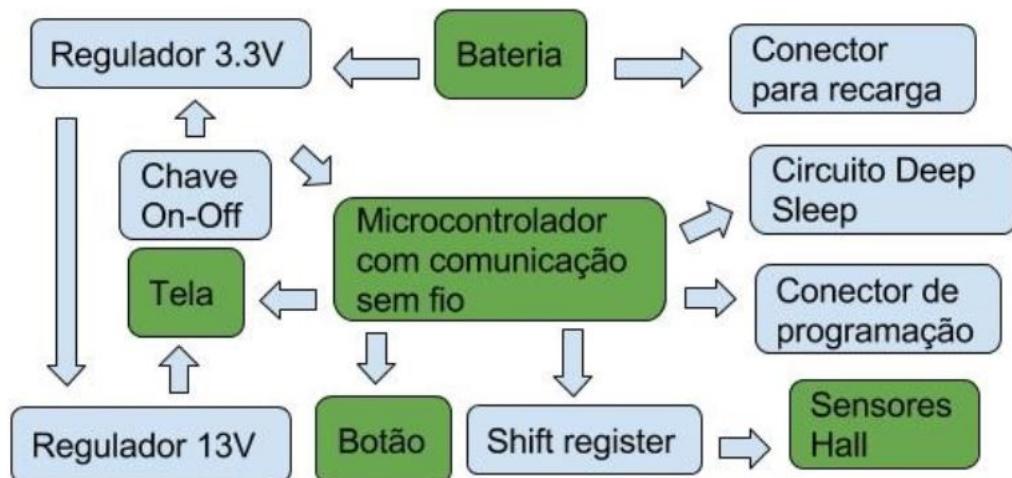


4.2 Componentes secundários do bloco

Para os componentes principais funcionarem, é preciso circuitos de componentes secundários como mostrado no esquemático abaixo.

Figura 11 – Esquemático de componentes secundários

Fonte: própria.



4.3 Dispositivo mestre

Como o ESP8266 usa o padrão Wi-fi para comunicação, foram considerados dispositivos que pudessem agir como ponto de acesso Wi-Fi, e que além disso possuíssem outro canal de comunicação para dispositivos auxiliares como um celular ou tablet. Inicialmente foi adquirido módulos de desenvolvimento do ESP32, versão mais potente do ESP8266, com conectividade bluetooth além do Wi-Fi e um processador mais rápido.

Figura 12 – ESP32

Fonte: Site da Aliexpress.



Porém, quando foi descoberto a existência do Raspberry Pi Zero W, recentemente lançado, vários fatores favoreceram a escolha do Raspberry como dispositivo mestre. O Zero W custa menos que o ESP32 aqui no Brasil, porém roda sistemas operacionais

inteiros e possui também conectividade bluetooth e Wi-Fi. Além disso possui saída para vídeo, possibilitando extensões do conteúdo para monitores ou TVs eventualmente. Mas o principal fator foi a facilidade de se criar jogos em um sistema operacional, dando flexibilidade de linguagens e acesso a programas auxiliares de terceiros.

Figura 13 – Raspberry Pi Zero W

Fonte: site da Raspberry Pi.



4.4 Projeto, fabricação e montagem de PCBs

4.4.1 Primeira versão

O objetivo da primeira iteração de PCBs foi a de confirmar o funcionamento desejado dos componentes principais, além de ter uma primeira noção do espaço que os componentes ocupariam na placa. Para testar o microcontrolador ESP8266, foi adquirida uma placa de desenvolvimento chamada NodeMCU, que vem com conexão USB e regulador de tensão embutido, além de fácil acesso aos seus pinos por headers machos. Para testar a tela e os sensores hall, duas placas de face simples foram projetadas e fabricadas. No projeto dessas placas, foram adotadas as recomendações de conexões mínimas dos respectivos datasheets.

Figura 14 – Primeira versão dos PCBs

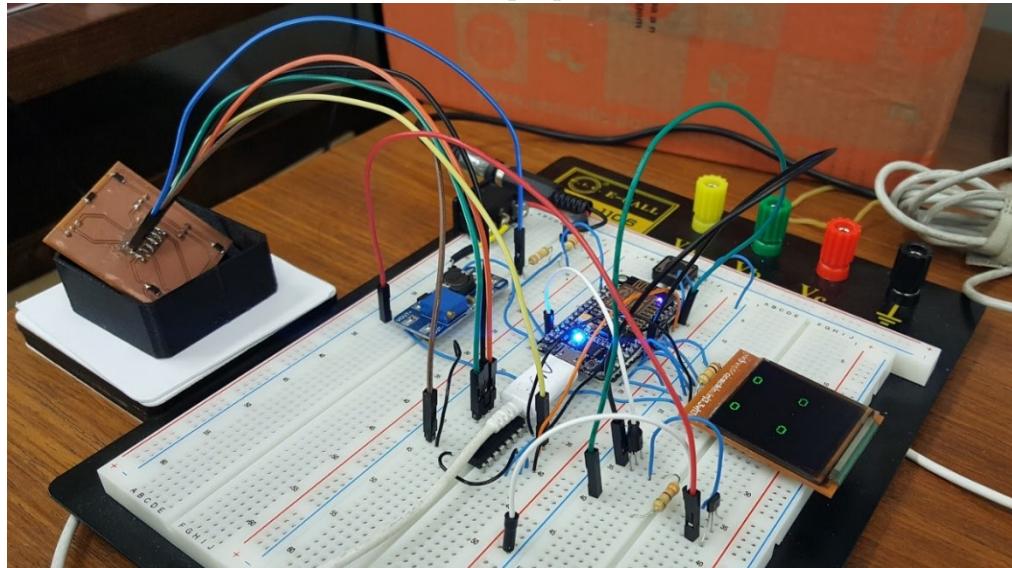
Fonte: própria.



As ligações foram feitas em um protoboard para testar o hardware fabricado, como mostrado na figura 15. Foi construído também uma casa modular do tabuleiro em MDF, com ímãs embutidos para testes.

Figura 15 – Montagem dos circuitos na protoboard

Fonte: própria.

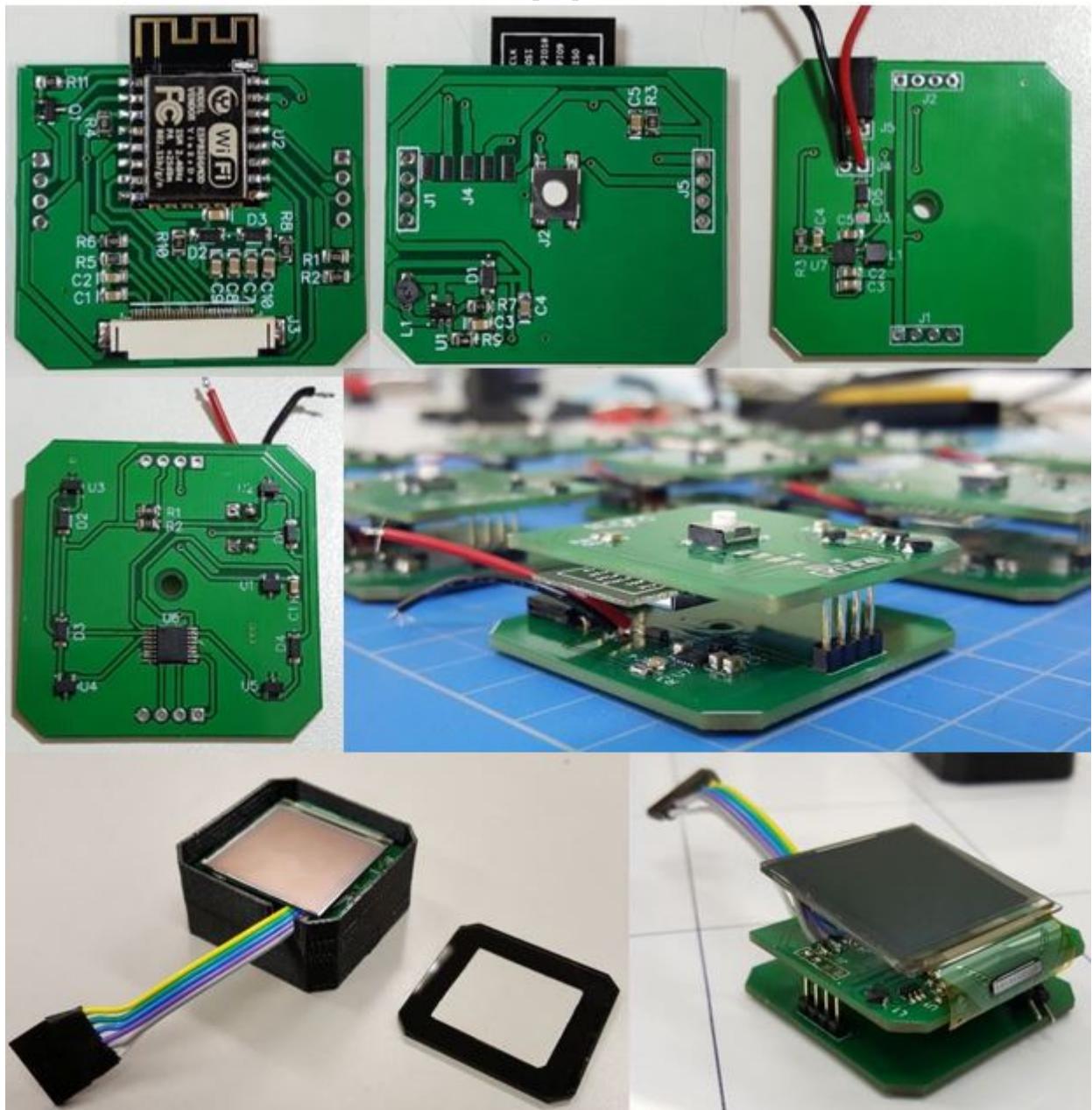


4.4.2 Segunda versão

Com a tela e os sensores funcionando como esperado, foram projetados duas placas dupla face já pensando nos limites dimensionais do bloco final.

Figura 16 – Segunda versão dos PCBs

Fonte: própria.



4.4.3 Terceira versão

Várias melhorias e correções foram identificadas logo depois de ter montado o primeiro bloco da segunda iteração, dando origem à terceira iteração do PCB.

Figura 17 – Terceira versão dos PCBs

Fonte: própria.



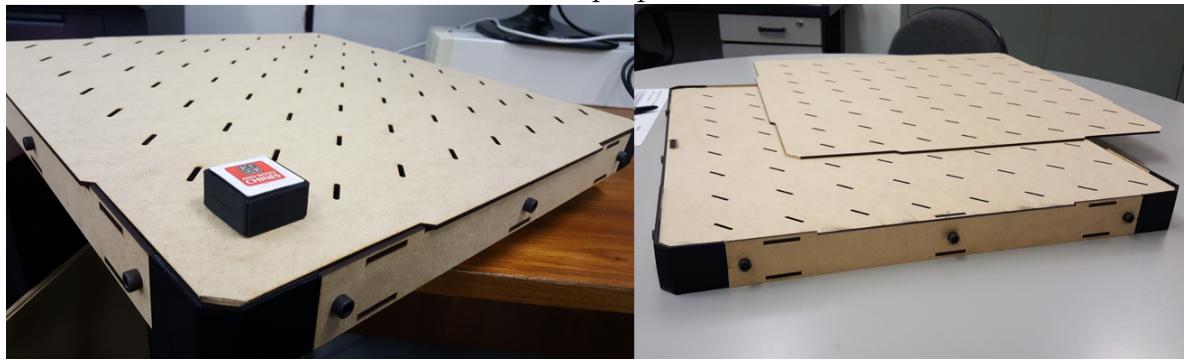
4.5 Projeto do tabuleiro

4.5.1 Primeira versão

Foi fabricado uma versão puramente visual do tabuleiro, com chapas de MDF e cantos impressos em 3D. Também foi impresso um bloco para se ter uma noção das dimensões relativas. No momento da primeira versão, estava-se considerando outra solução de comunicação entre blocos, baseado em pinos retráteis que criam contato elétrico entre o bloco e o tabuleiro, por isso foram feitos buracos na diagonal em cada casa do tabuleiro.

Figura 18 – Tabuleiro visual construído para ter noção das dimensões

Fonte: própria.

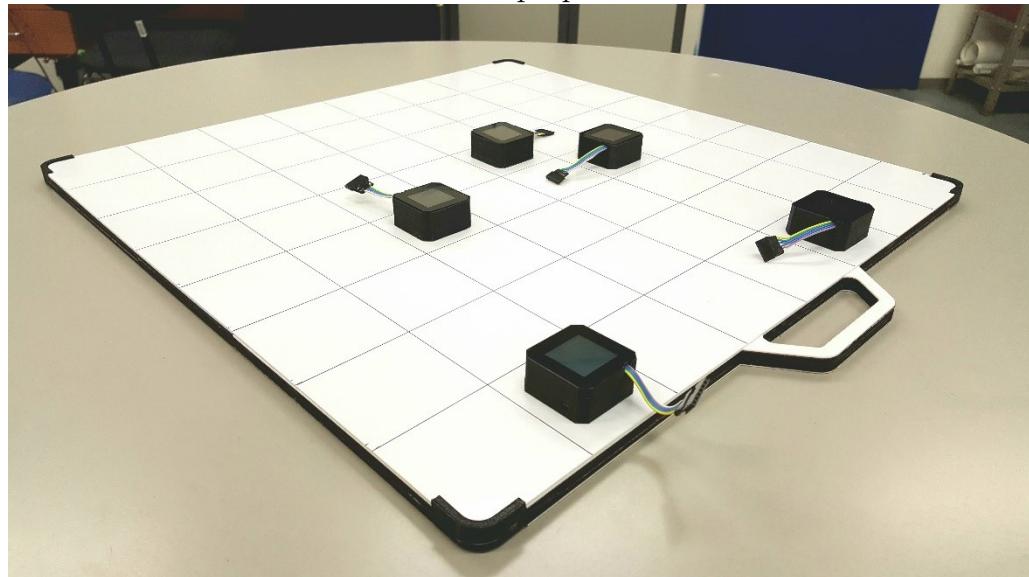


4.5.2 Segunda versão

O primeiro tabuleiro de ímãs foi feito com 3 camadas de MDF empilhadas, a superior contendo os ímãs de fixação e os outros dois contendo ímãs de leitura. Chapas de poliestireno de 1mm de espessura foram utilizadas para acabamento nas faces superior e inferior do tabuleiro. Cantos impressos em 3D garantem o encaixe e alinhamento do tabuleiro impresso.

Figura 19 – Primeiro tabuleiro de ímãs

Fonte: própria.



4.5.3 Terceira versão

Após experimentos com ímãs de tamanhos diferentes, foi possível substituir as várias camadas por apenas uma, variando o campo com diâmetros diferentes de ímãs ao invés de alterar a distância. Dessa forma foi possível diminuir muito o peso final do tabuleiro, além do esforço de montagem e corte do material. Uma comparação da grossura dos dois tabuleiros pode ser vista na figura 20.

Figura 20 – Terceira versão do tabuleiro, mais fino e mais leve

Fonte: própria.



4.5.4 Quarta versão

Após testes do tabuleiro com aplicações criadas, percebeu-se que os ímãs de fixação não eram fortes o suficiente para serem posicionadas com confiabilidade, além disso, os ímãs de leitura possuíam campos muito próximos um do outro, dificultando a leitura correta dos endereços das casas. Portanto foram feitos testes com ímãs de tamanhos de valores mais distantes um do outro para leitura e ímãs mais fortes para fixação, após encontrar os tamanhos adequados, foi fabricado uma quarta versão do tabuleiro.

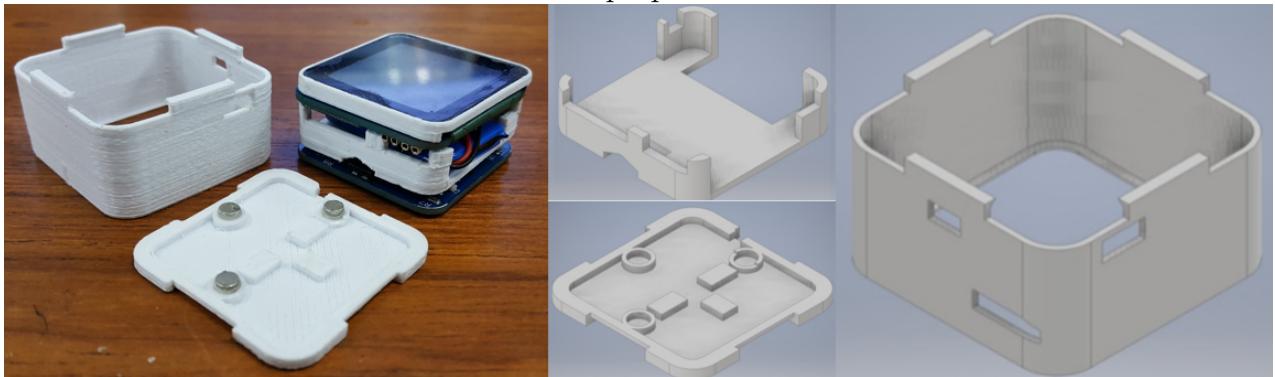
4.6 Elementos estruturais do bloco

4.6.1 Case externo, suporte da bateria e tampa

Todos os elementos estruturais menos o protetor de tela foram impressos em 3D, devido à flexibilidade de forma e rapidez de produção em pequenas quantidades.

Figura 21 – Peças de suporte impresso em 3D

Fonte: própria.



4.6.2 Protetor de tela

Acrílico de 2mm de espessura foi utilizado para proteger a tela de riscos e do esforço mecânico dos cliques. As placas foram cortados a laser e a película protetora que vêm no material foi utilizada para servir de máscara para a pintura das bordas, utilizando potências diferentes para o corte do acrílico e da película. A pintura foi feita com tinta spray utilizando um gabarito impresso em 3D para reforçar a máscara de película.

Figura 22 – Protetores de tela de acrílico sendo pintados

Fonte: própria.



4.7 Carregador de blocos

Módulos de recarga de baterias de lítio de uma célula que usam o circuito integrado TP4056 foram utilizados para construir os carregadores de blocos. Duas iterações do carregador foram construídos por impressão 3D, como visto na figura 23.

Figura 23 – As duas iterações do carregador de blocos

Fonte: própria.

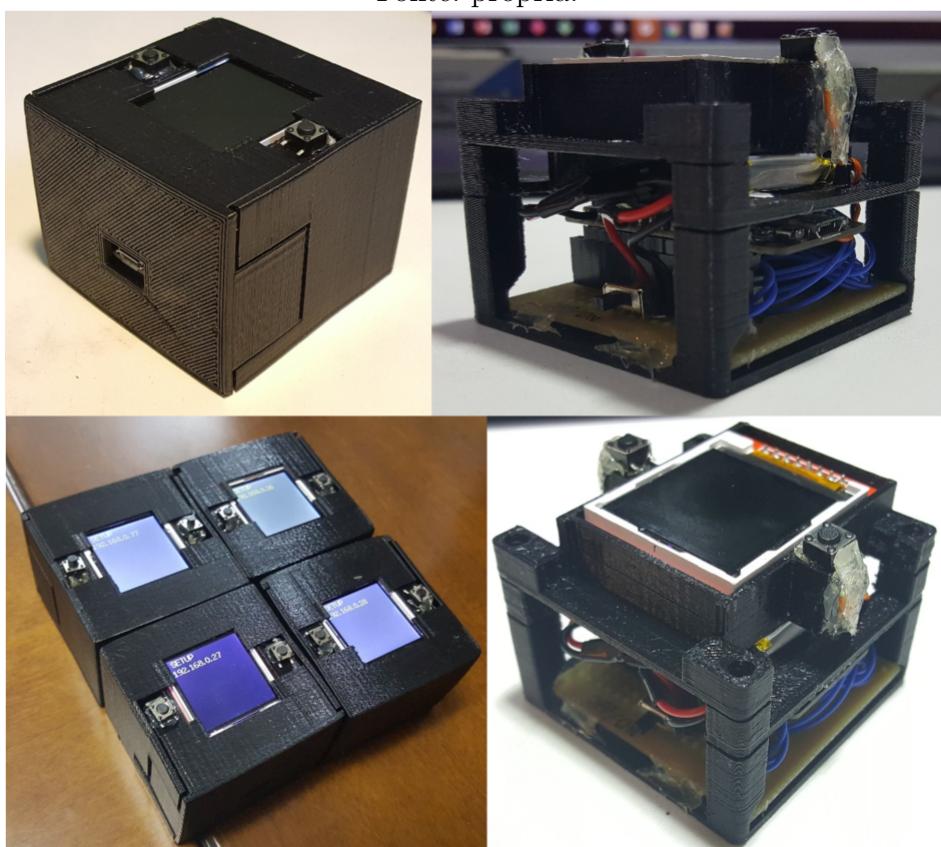


5 DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

Enquanto o projeto e fabricação das PCBs não foram realizadas, foi construído 4 blocos com funcionalidades mínimas de hardware para testar as conexões Wi-Fi do ESP8266 e as bibliotecas de controle da tela. Como as dimensões do bloco não eram importantes nesta fase do projeto, foram utilizados módulos de desenvolvimento do ESP8266 e da tela, ligando tudo com uma placa perfurada. Além disso, três botões e uma chave liga-desliga foram implementadas. A estrutura foi toda impressa em 3D.

Figura 24 – Protótipo construído para testar o software de comunicação

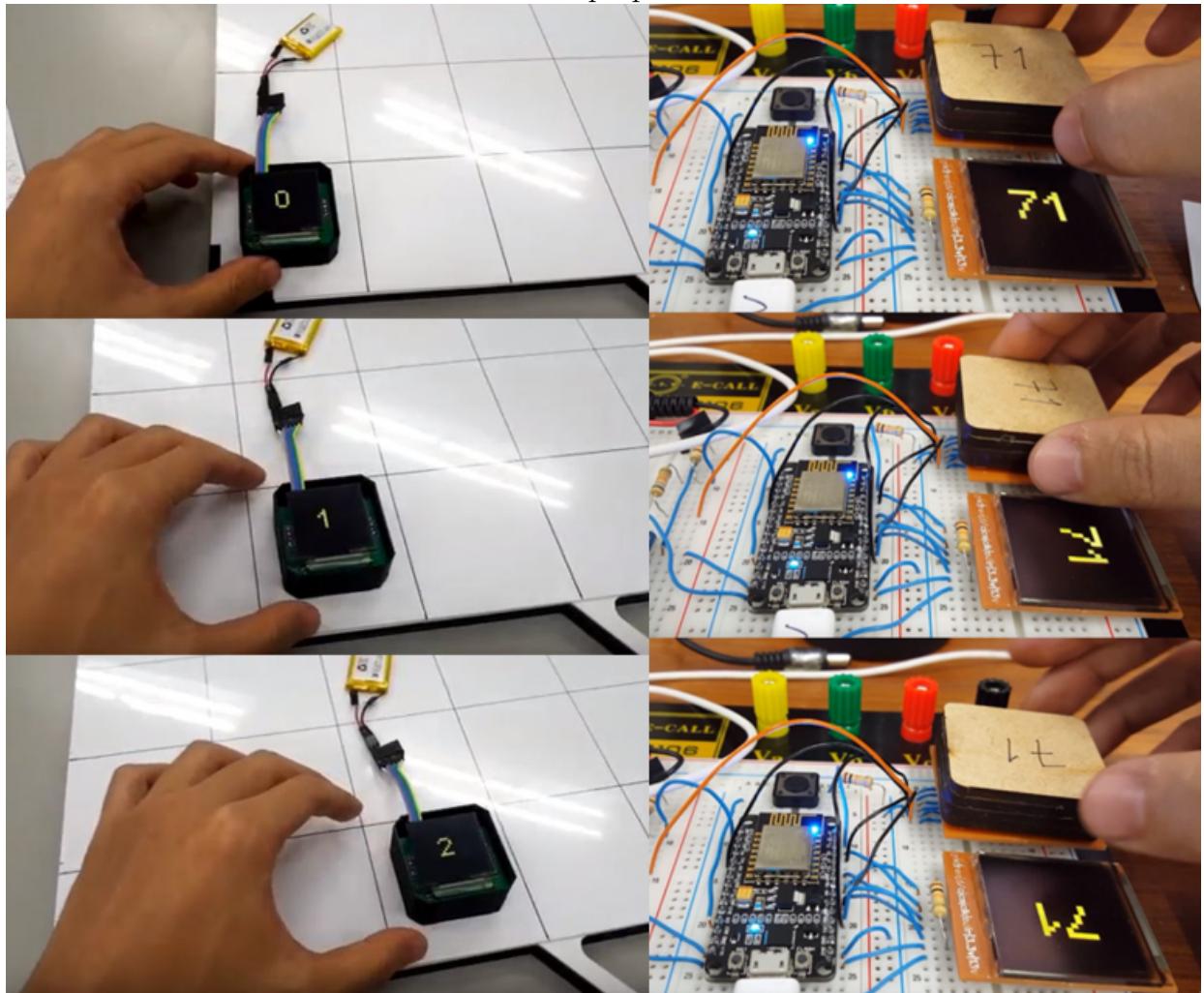
Fonte: própria.



Um programa de leitura dos sensores e conversão para endereço e orientação foi escrito, na sequência de imagens à esquerda da figura 25 é possível ver a detecção do endereço, enquanto que a detecção da orientação pode ser vista na sequência à direita da mesma figura.

Figura 25 – software de leitura de endereço e rotação em ação

Fonte: própria.

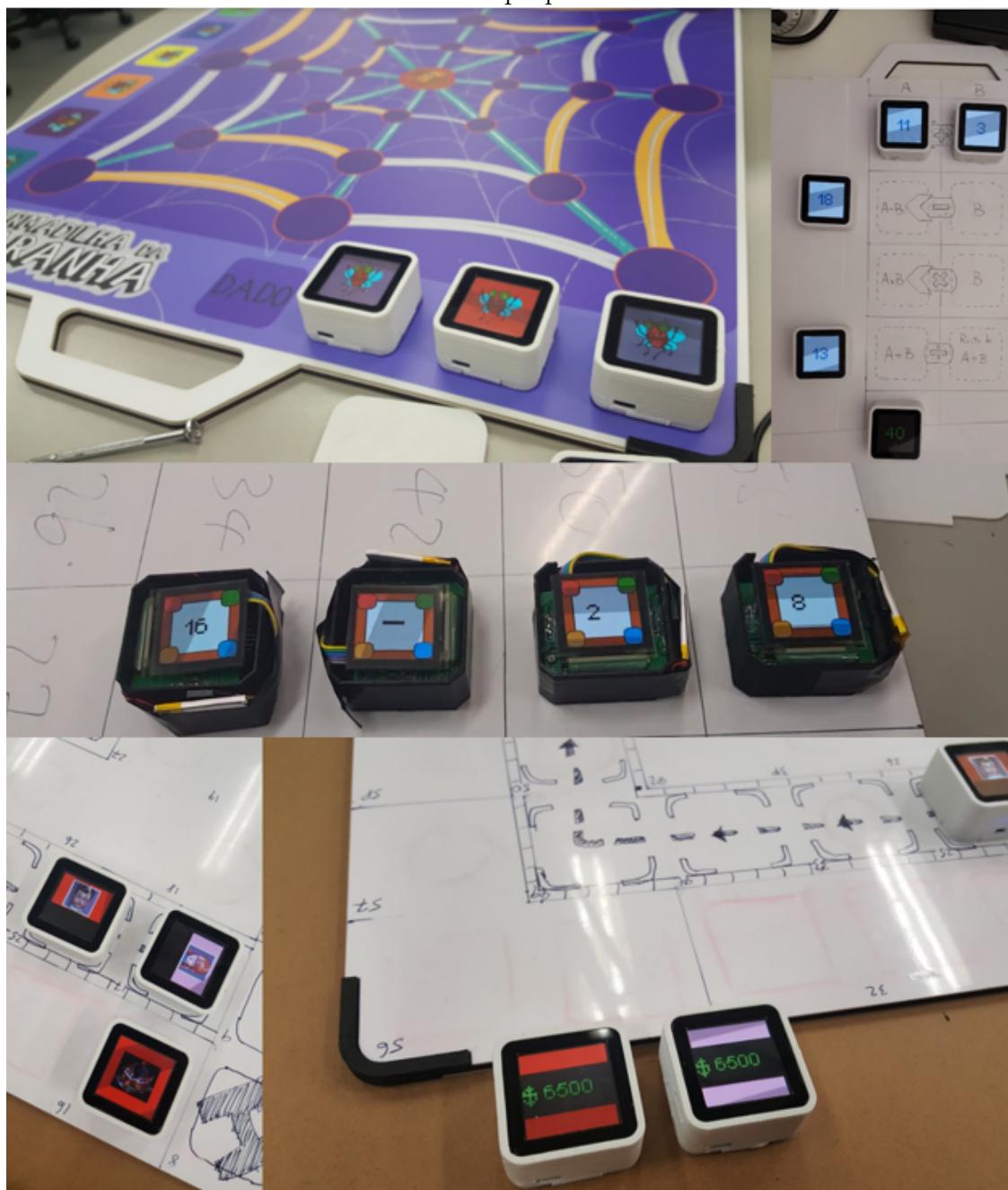


6 CONCLUSÕES

O foco do presente trabalho foi o desenvolvimento do hardware necessário para as interações da plataforma proposta, que é parte de um projeto maior com uma equipe contendo outros integrantes. Com os protótipos construídos neste trabalho de conclusão de curso, foi possível testar a robustez e confiabilidade da plataforma através dos jogos desenvolvidos por membros da equipe que não fazem parte deste trabalho de conclusão de curso. Várias dessas aplicações podem ser vistas na figura 26.

Figura 26 – Jogos diversos sendo executados na plataforma

Fonte: própria.



REFERÊNCIAS

- 1 DOPPLICK, R. *Maker Movement and Innovation Labs* ACM 2015 December.
- 2 BLIKSTEIN, P. *Gears of Our Childhood: Constructionist Toolkits, Robotics, and Physical Computing, Past and Future.* ACM (2013)
- 3 TREHER, E.N. *Learning with Board Games.* The learning Key (2011)
- 4 GIBSON, V et al. *Criticality: The experience of developing an interactive educational tool based on board games.* (2013)
- 5 SENAI JOGO INDÚSTRIA. 2015 Disponível em: <http://celuloseonline.com.br/senai-desenvolve-jogo-de-tabuleiro-voltado-para-as-industrias-sucroenergeticas/> . Acesso em: 30/06/2017
- 6 CIA BOARDGAME. Disponível em: <https://arstechnica.com/gaming/2017/03/the-cia-uses-board-games-to-train-officers-and-i-got-to-play-them/>. Acesso em: 30/06/2017
- 7 MERRILL, D et al. *Siftables: Towards Sensor Network User Interfaces..* ACM (2007)
- 8 HISTORY OF BOARDGAMES. 2016 Disponível em: <https://medium.com/swlh/the-full-history-of-board-games-5e622811ce89>). Acesso em: 30/06/2017