

IOT4FUN: ANÁLISE DO HARDWARE EXISTENTE E PROPOSTA DE UMA NOVA PLACA

Thiago Dias Nogueira (Autor)

Bacharelado em Engenharia Eletrônica/UACSA

Universidade Federal Rural de Pernambuco

thiago.nogueira@ieee.org

Judith Kelner (Orientadora)

Centro de Informática

Universidade Federal de Pernambuco

jk@gprt.ufpe.br

Roberto Kenji Hiramatsu (Coorientador)

Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho

Universidade Federal Rural de Pernambuco

roberto.hiramatsu@ufrpe.br

RESUMO.

IoT4Fun é uma ferramenta modular para prototipação rápida de brinquedos inteligentes. A ferramenta permite a coleta de dados de rastreamento de movimento e possui interface de comunicação sem fio e identificação por radiofrequência. O objetivo geral deste artigo é apresentar os testes realizados para avaliação da versão anterior da ferramenta IoT4Fun com o intuito de averiguar a integridade física dos componentes modulares após a incorporação da IoT4Fun em cinco protótipos de brinquedos inteligentes. Outro objetivo é propor uma nova placa para a ferramenta IoT4Fun. Os testes realizados incluíram a avaliação da autonomia do módulo de bateria nos diferentes cenários de aplicação e a análise de vulnerabilidade para ameaças de segurança. Após a avaliação dos resultados dos testes constatou-se a necessidade de desenvolver uma placa modular para o IoT4Fun. Portanto, elaborou-se um esquema elétrico e, a partir dele, desenhou-se o layout das placas de circuito impresso para cada módulo. Como trabalho futuro será realizada a prototipação da nova versão da placa IoT4Fun e novos testes serão desenvolvidos para avaliar a solução proposta.

Palavras-chave: Brinquedos Inteligentes, Prototipação Rápida, Sistemas Embarcados, IoT.

1 INTRODUÇÃO

Brinquedos e jogos são objetos que despertam a curiosidade, aguçam o interesse, ajudam no aperfeiçoamento cognitivo e interação social, podendo trazer benefícios para o aprendizado e desenvolvimento infantil (CAGILTAY; KARA; AYDIN, 2013). A história dos brinquedos é tão antiga quanto a história da civilização humana. Muitos brinquedos que existem hoje nasceram nas grandes civilizações antigas, e vários deles permaneceram inalterados ao longo do tempo. Por exemplo, do Egito, herdamos o jogo-da-velha, boneca e as bolas de gude, da China, o dominó, os cata-ventos e as pipas (CUNHA; GARBIN, 2014). É interessante notar ainda que muitos desses

brinquedos infantis não mudaram muito em termos de forma ao longo dos séculos. De fato, a indústria de brinquedos surgiu somente após a Revolução Industrial com a introdução de novas tecnologias de fabricação. A partir da década de 1950, muita coisa mudou com a introdução do plástico e, na década de 1980, com a popularização dos jogos eletrônicos. Por exemplo: as bonecas foram usadas como brinquedos em muitas sociedades antigas, porém, essas bonecas só começaram a "evoluir" à medida que a tecnologia progredia ao longo dos séculos, especialmente após a rápida industrialização que permitiu que os brinquedos fossem fabricados, em larga escala, com um baixo custo de produção (BROWN, 1990).

Nos últimos anos vimos a expansão da Internet das Coisas (IoT), em que objetos físicos são embarcados com componentes eletrônicos, sensores, *softwares* e conectam-se uns aos outros através da Internet trocando dados. Com isso, uma nova geração de brinquedos que são conectados à Internet foi lançada no mercado e está se tornando cada vez mais comum (MCREYNOLDS et al., 2017). Esses brinquedos são denominados brinquedos inteligentes e são semelhantes a outros dispositivos IoT, pois consistem em brinquedos físicos que estão conectados à Internet e a outros brinquedos e/ou dispositivos, como *smartphones* e *tablets*, por meio do Bluetooth e Wi-Fi. Dessa forma a literatura também os classificam de brinquedos conectados. Recentemente, grandes empresas do setor de brinquedos, como a Mattel e Hasbro, lançaram produtos que se conectam a dispositivos móveis, adicionando novos recursos, como o uso de aplicativos nas brincadeiras (RAFFERTY; KROESE; HUNG, 2015). Um bom exemplo desses brinquedos foram os populares *action figures* como Skylanders ou Disney Infinity, que eram conectados a um *video game* por meio de identificação por radiofrequência (RFID) e/ou software de reconhecimento de imagem (MASCHERONI; HOLLOWAY, 2019). Brinquedos inteligentes podem conter sensores e atuadores que permitem detectar e interagir com o ambiente. A partir do momento em que os brinquedos começam a se conectar com dispositivos móveis os campos se relacionam, dos quais incluem computação física, serviços móveis, serviços de localização e realidade aumentada. Em um nível mais básico, brinquedo inteligente pode ser identificado como um dispositivo computacional equipado com tecnologia sensorial, o que difere de brinquedos eletrônicos tradicionais, pois enquanto o brinquedo inteligente mescla um dispositivo móvel a um componente físico, o brinquedo eletrônico fica isolado em sua plataforma proprietária (RAFFERTY; KROESE; HUNG, 2015).

Esses cruzamentos de produtos utilitários de tecnologia da informação com brinquedos criaram imensas oportunidades para empresas de tecnologia da informação e fabricantes de brinquedos inovarem e colaborarem para mudar o cenário dos mercados de brinquedos (DHAR; WU, 2015). Globalmente, a indústria de brinquedos é significativa. Por exemplo: de acordo com a Hexa Research (2019), o tamanho do mercado de brinquedos inteligentes valerá 24,65 bilhões de dólares até 2025, com uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 15% entre 2017 e 2025. O crescimento dos brinquedos é amplamente influenciado pela demanda e pela oferta do mercado. Do lado da demanda, uma população e rendimentos crescentes em mercados emergentes oferecem enormes oportunidades de expansão de mercado para os brinquedos tradicionais e os inteligentes. Do lado da oferta, o desenvolvimento de novos produtos

e o comércio eletrônico geraram aumento nas vendas e receitas de brinquedos (DHAR; WU, 2015). Outro fator que contribui para o crescimento do mercado é o aumento da utilização da educação conduzida por tecnologia em crianças para melhorar as habilidades físicas, mentais e intelectuais. No caso, à medida que os brinquedos inteligentes se tornam mais acessíveis, os brinquedos educacionais estarão mais presentes nas escolas. Por exemplo, o relatório da Juniper Research (2017) mostra que a empresa Osmo tem sido líder nessa área, com mais de vinte e cinco mil escolas adotando seus kits de aprendizado. O relatório ainda complementa que esses brinquedos não são atraentes só para crianças, mas também para adultos e colecionadores, como demonstrado nas vendas do *droid* habilitado com aplicativo BB-8, da Sphero (SPHERO, 2019) e pelo conjunto de brinquedos e jogos da franquia Ghostbusters, da LEGO (LEGO, 2019), dos quais boa parte dos consumidores são adolescentes e adultos.

Com um mercado em expansão, possibilidades são geradas não só para as tradicionais fabricantes de brinquedos como também para empresas independentes. Como mostra a figura 1, atualmente existem mais de dez empresas fabricando e negociando brinquedos inteligentes e robôs pré-montados, a exemplo da littleBits, que cria soluções com blocos eletrônicos encaixáveis focados em STEM (*Science, Technology, Engineering e Mathematics*), SAM LABS, que cria kits de construção habilitados com aplicativos projetados para fins educacionais, e a já citada Sphero, que combina brinquedos robóticos físicos com aplicativos digitais (WIRZ, 2018).

Muitas dessas empresas começaram como *startups* e utilizaram plataformas de financiamento coletivo online (do inglês, *crowdfunding*) para financiar seus projetos, como Kickstarter, Catarse e Indiegogo.

O controle Delta Six por exemplo, é um controle de *video game* em forma de arma para os populares jogos *first person shooter* (FPS), que teve financiamento pela plataforma online Kickstarter. Outro exemplo é o Sphero RVR, um robô de alto torque em forma de carro e que é reprogramável. Atualmente o Sphero RVR está com uma chamada aberta para obter financiamento através da plataforma Kickstarter. Temos ainda o robô Leka, que é um brinquedo inteligente com foco em crianças com distúrbio de desenvolvimento e que foi financiado através da plataforma Indiegogo.

Essa parcela da indústria de brinquedos inteligentes com empresas independentes é bastante significativa, pois não só tem potencial para criar soluções próprias como também integram projetos de empresas de maior porte. Por exemplo, a *startup* localizada em São Francisco, PullString, que desenvolve soluções no processamento e reconhecimento de voz infantil, foi adquirida pela Apple, e será usada em conjunto com a assistente pessoal Siri. Segundo Constone (2019) essa aquisição poderá impulsionar o catálogo interno da Apple de brinquedos ativados por fala de crianças, além de aprimorar suas ferramentas para desenvolvedores. Essas uniões de empresas oferecem a oportunidade de criação de diversos *softwares* e dispositivos conectados além do brinquedo físico, como por exemplo *video games* e *smartphones*. Empresas como a Nintendo, Disney e LEGO fazem grandes investimentos nessa área. Um bom exemplo é o da Nintendo, que criou uma plataforma capaz de integrar cartões e bonecos interativos, os **amiibo**, com os *video games* (Nintendo Switch e 3DS). O Nintendo Switch ainda pode se vincular

| | Building/Making | Coding | | | | Math, Reading & Language |
|---------------------|---|---|---|--|---|---|
| | | Electronics & Circuits | | Robots | | |
| | | Construction | Computers | Build Yourself | Pre-Assembled | |
| Up to 9 Years Old |  | | |  |  |  |
| Up to 13 Years Old |  |  |  |  |  |  |
| Up to 18 Years Old+ |  |  |  |  |  | |

Figura 1 – Empresas de brinquedo e robótica educacional

Fonte: Wirz (2018)

a estruturas de papelão, os Toy-Con, no projeto denominado Nintendo Labo (PEÑA, 2018).

Apesar da grande demanda e dos diversos produtos relacionados a brinquedos inteligentes, ainda há muitas falhas de segurança, privacidade e problemas de integração *hardware* e *software*. Um exemplo de problema de privacidade é o da já citada Pullstring. Em 2015, a empresa passou por um episódio envolvendo “vigilância infantil”, quando seus dispositivos incorporados em brinquedos como a Hello Barbie foram alvos de controvérsia com hashtags no Twitter como *#HellNoBarbie* e um resumo das desvantagens de um brinquedo conectado, identificando problemas de privacidade, feito pela *Campaign for A Commercial Free Childhood* (CCFC, 2016), Campanha por uma infância livre comercial em tradução livre. A Pullstring chamou atenção adicional para uma política de privacidade que parecia permitir à empresa ampla liberdade com o uso de gravações infantis. McReynolds et al. (2017) fizeram alguns testes em brinquedos inteligentes e relataram que em relação a permissão dos pais, a Pullstring ao invés de apresentar um documento com os serviços típicos que são oferecidos e um botão de permissão ela enviava um e-mail com um grande botão "eu aceito", para que as crianças pudessem brincar. Porém, durante os testes, nenhum participante observou o efeito do texto usado para conceder permissão. Ou seja: todos clicaram para permitir que seu filho brincasse com o brinquedo.

Muitos brinquedos de sucesso são moldáveis. As crianças podem separá-los ou moldá-los conforme desejam. Os brinquedos mais duradouros e bem-sucedidos tornam-se atemporais por causa dessa propriedade. Um exemplo clássico dessa propriedade está incorporado na empresa Lego. O Lego permite que as pessoas construam objetos em diversas combinações, brinquem com o objeto construído e depois construam um novo. Dada a natureza complexa da integração de *hardware* e *software* para dispositivos IoT mais convencionais, os brinquedos inteligentes existentes não foram capazes de desenvolver produtos que podem ser criativamente reconstruídos e reproduzidos de diversas formas. Dhar e Wu (2015) comentam em seus estudos que esse pode ser o maior desafio para as empresas.

Nesse sentido, visto que o mercado para empresas independentes do setor de brinquedos inteligentes está em ascensão e que essas mesmas empresas ainda encontram desafios técnicos

para desenvolvimento desses produtos, foi proposto a ferramenta IoT4Fun. O IoT4Fun é uma ferramenta para prototipação rápida (FPR), que consiste em um conjunto de placas eletrônicas modulares, sendo uma delas o módulo principal composto por um microcontrolador integrado a um sensor de movimento. O módulo principal possui conexões para os módulos atuadores: visual, auditivo e háptico; e módulos comunicadores: Wi-Fi/Bluetooth, NFC e USB. Além disso, a ferramenta atende a uma lista de requisitos que inclui suporte a coleta de dados distribuída, adaptabilidade para os diferentes tipos de interface de brinquedos e fornecimento de segurança e privacidade, limitando a coleta de dados pessoais (DP). A ideia é que sendo uma ferramenta para prototipação rápida, possa auxiliar os profissionais da indústria de brinquedos inteligentes facilitando na especificação e implementação dos componentes eletrônicos, principalmente, nas fases iniciais do desenvolvimento de novos produtos. Desta forma, os profissionais poderão empregar mais tempo para a realização de testes e melhorias nos projetos, uma vez que o funcionamento dos componentes eletrônicos ficará assegurado pela ferramenta a ser desenvolvida. Visto que a ferramenta IoT4Fun ainda encontra alguns problemas, foi proposto um aprimoramento na mesma após a análise realizada com os resultados obtidos nos testes de avaliação da versão anterior.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 1 introduziu os principais conceitos e motivações. Na seção 2, tem-se a fundamentação teórica que embasou a pesquisa. Na seção 3, as metodologias para o desenvolvimento do projeto foram descritas, a avaliação da ferramenta IoT4Fun e a proposição de um novo hardware. Na avaliação foram descritos os testes realizados na versão anterior da ferramenta. Na proposição, são apresentadas melhorias a serem implementadas e a pesquisa realizada sobre os novos componentes, além da definição do esquemático elétrico, e do desenvolvimento iterativo do layout da nova placa proposta. As seções 4 a 5 relatam os resultados das fases de avaliação e proposição respectivamente. A seção 6, expõe as considerações finais e os trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Pelo fato de brinquedos inteligentes incorporarem componentes computacionais e, por terem interações diretas com as pessoas eles se tornam campo de estudo da área de Interação Humano-Computador (IHC). Mais especificamente, como brinquedos inteligentes têm sensores e atuadores onde usuários podem interagir e brincar, pode-se categorizá-los como sistemas de User Interface (UI). Como a gama de brinquedos inteligentes é grande e, conseqüentemente, a quantidade de interfaces e formas de interação que os brinquedos têm também os são, alguns autores os categorizaram em relação as essas interações. O autor Nijholt (2014) rotulou esses produtos como *playful user interfaces* (PUI), pois apresentam aspectos lúdicos que incentivam a interação, e *tangible user interfaces* (TUI), pois são objetos físicos com propriedades digitais.

Essas definições porém, não contemplam adequadamente algumas características desses produtos como, por exemplo, o fato de que brinquedos inteligentes

fazem parte de atividades lúdicas físicas e sociais. Logo, esses produtos ainda exigem uma definição de IHC mais apropriada. Nesse caso, utilizou-se a definição de *toy user interfaces* (ToyUI) para esses produtos. O conceito de ToyUI define que um brinquedo inteligente é um dispositivo físico computacional que deve permitir a interação com o usuário e conexão com outros componentes físicos ou digitais com o objetivo de promover experiências lúdicas envolvendo atividades físicas e sociais (ALBUQUERQUE; KELNER, 2018).

De acordo com Albuquerque e Kelner (2018) a configuração básica de uma ToyUI é composta de um componente como o brinquedo inteligente que pode se conectar com componentes secundários para aprimorar seus recursos de brincadeiras e interfaces. Esses componentes secundários podem ser *smartphones*, *tablets*, computadores pessoais e *video games* ou até mesmo *wearables* (tecnologias vestíveis), acessórios, cartas de jogos e robôs. Essa conectividade com componentes secundários é o que suporta a integração de *hardware* e *software*, além de oferecer acesso a serviços digitais, como armazenamento na nuvem, que podem fornecer melhorias e facilidades nas brincadeiras. (RAFFERTY et al., 2017). Dada a definição, os autores de Albuquerque e Kelner (2018) criaram um modelo que conseguiu organizar 22 categorias do ToyUI por suas características de interface. Essas características da interface distinguem os tipos de componentes de brinquedos, dispositivos conectados e periféricos, incluindo tamanho, representação simbólica e aspectos de conectividade e interatividade. As características de jogo variam de acordo com o objetivo geral, regras, dinâmicas, temáticas, público-alvo, entre outros aspectos físicos, sociais e ambientais. Uma ferramenta de prototipação rápida para *design* do ToyUI deve levar em conta os diferentes recursos (interface e brincadeira) para suportar a implementação de comportamentos de brincadeiras físicas e sociais (ALBUQUERQUE; KELNER, 2018).

As características da interface são responsáveis por permitir que o brinquedo inteligente colete, transfira e processe dados do mundo real. A coleta de dados serve para regular as características da brincadeira e para dar suporte a interação humano-brinquedo. Nesse caso, o brinquedo pode gerenciar a coleta independentemente ou pode conectar-se a um dispositivo local ou via *Cloud* para compartilhar o processamento. A coleta de dados é o que diferencia brinquedos inteligentes de brinquedos mais genéricos (SHASHA et al., 2018). Esses produtos podem coletar uma variedade de dados pessoais de seus usuários para seu funcionamento. Esses dados pessoais podem ser imagens de rostos, gravação de voz e coordenadas georreferenciadas. Eles podem permitir brechas para violação de privacidade tais como coleta e armazenamento de dados indesejados.

A fim de minimizar esses danos à privacidade do usuário, tal como alguma divulgação não autorizada desses dados, os brinquedos inteligentes podem utilizar abordagens de coleta de dados não pessoais (DNP) (ALBUQUERQUE; KELNER, 2019). De acordo com essa abordagem, é possível coletar três tipos de dados não-pessoais de usuários usando brinquedos inteligentes. Primeiro, a identificação não pessoal (IDNP) consiste em identificar um indivíduo real ou virtual (objeto ou usuário) sem reconhecer o indivíduo como um ser identificável. Em outras palavras, por definição a solução do ToyUI, pode identificar um jogador como um ser genérico. (por

exemplo, a IDNP de uma pulseira é "jogador um", portanto, qualquer usuário que a use será identificado como o "jogador um"). Segundo Albuquerque e Kelner (2019) a IDNP pode assumir os seguintes tipos:

- **Única** - Associa um único objeto ou usuário a um único valor (por exemplo, a IDNP de um usuário é igual a "jogador um");
- **Múltipla** - Associa um único objeto ou usuário à vários valores (por exemplo, as seis faces de um cubo associam seis IDs a um único objeto);
- **Coletiva** - Associa diferentes objetos ou usuários a um valor coletivo;
- **Estado** - Ocorre quando a IDNP do objeto ou do usuário pode alterar seu valor para uma IDNP diferente.

O segundo tipo de dados é o sistema de posicionamento não pessoal (SPNP), que consiste de um mecanismo que determina a localização de uma entidade real ou virtual em um espaço designado para não coletar dados pessoais. Esse sistema varia de acordo com sua precisão e os graus de liberdade. Albuquerque e Kelner (2019) definem que os tipos de dados de SPNP que permitem o rastreamento de objetos e usuários podem ser:

- **Coordenadas de posicionamento 2D** - Estimam a localização de um objeto ou usuário, inteiro ou em partes, em um plano bidimensional;
- **Coordenadas de posicionamento 3D** - Estimam a localização de um objeto, inteiro ou em partes, ou usuário em um plano tridimensional;
- **Posicionamento angular** - Estima a rotação e translação de um objeto ou usuário, inteiro ou em partes, em um plano tridimensional,
- **Posicionamento relativo** - Estima a localização relativa de dois ou mais indivíduos em um plano tridimensional;
- **Sistema de posicionamento interno** - Estima a posição 3D de um objeto ou usuário limitado a um espaço interno;
- **Sistema de posicionamento local** - Estima a posição 3D de um objeto ou usuário limitado ao alcance de uma rede local, sendo adequado para ambientes externos.

Por fim, uma vez estabelecidas as estratégias de rastreamento de objetos e usuários usadas para coletar dados não pessoais e do sistema de posicionamento não pessoal, é possível estimar dados de rastreamento de movimento. Os corpos físicos em movimento geram uma variedade de dados, incluindo velocidade e aceleração. Forças externas como momento, gravidade e pressão atmosférica influenciam esses corpos. No que diz respeito ao ToyUI, o rastreamento de movimento em tempo real é usado como um recurso para regular as atividades de jogo físico

e determinar o desempenho do usuário, pois o rastreamento de movimento permite medir o desempenho do jogador, comparando movimentos em tempo real com a coleta de dados esperada (ALBUQUERQUE; KELNER, 2019). Esses tipos de dados podem ser do tipo:

- **Movimento relativo (trajetória)** - Estima a posição relativa em tempo real de um objeto ou usuário, inteiro ou em partes, desde o local inicial até o final em um determinado período de tempo;
- **Movimento circular (frequência angular)** - Estima a posição radial em tempo real de um objeto ou usuário, inteiro ou em partes, desde a posição angular inicial até o local final em um determinado momento;
- **Oscilação (vibração)** - Estima a posição 3D em tempo real de um objeto ou usuário, inteiro ou em partes, referenciando um eixo central e uma frequência de movimento em um determinado tempo;
- **Momento (pressão)** - Estima as forças externas exercidas em um objeto ou usuário, inteiro ou em partes, durante um determinado período;
- **Cinemática 3D** - Mede os movimentos da cadeia cinemática do objeto ou usuário, inteiro ou em partes, em um espaço tridimensional.

Nesse sentido, uma ferramenta de prototipação rápida para brinquedos inteligentes pode utilizar a coleta de dados de rastreamento de movimento para oferecer uma gama mais ampla de oportunidades para o design de brinquedos inteligentes, considerando-se, então, o aspecto de requisitos para a criação de uma ferramenta de prototipação rápida. Os requisitos devem ser responsáveis por uma variedade de interfaces, características de brincadeiras, regras e objetivos de jogo, dinâmica, temática, público alvo, entre outros aspectos dos brinquedos inteligentes.

Essas regras de jogo podem ser divididas em dois tipos: abertas e fechadas. As regras abertas introduzem especificações mais negociáveis, que são determinadas pelos usuários e pelas entradas e saídas do brinquedo. Já as regras fechadas são predefinidas, permitem aos projetistas criarem níveis de desafios semelhantes aos utilizados pelos jogos digitais (ALBUQUERQUE; KELNER, 2018). Então, segundo Albuquerque et al. (2020) uma ferramenta de prototipação rápida para brinquedos inteligentes precisa dar suporte para a implementação desses requisitos¹. Os requisitos escolhidos para a construção dessa ferramenta são listados a seguir.

R1. Suportar a adaptabilidade por design. - Para ser adaptável, a ferramenta deve se adequar em projetos diferentes sem comprometer as funcionalidades. Portanto, é necessário que a ferramenta tenha componentes de hardware com tamanhos reduzidos. Além disso, a ferramenta pode incorporar a modularidade, pois suporta melhor a distribuição dos componentes físicos para cada projeto.

¹ Esse artigo foi aceito para apresentação e publicação em evento internacional, e estará disponível em janeiro de 2020.

- R2. Permitir a coleta de dados distribuídos.** - Dependendo do recurso, os componentes físicos do próprio brinquedo podem não ser suficientes para processar algo. Assim, eles podem se conectar com dispositivos com maior capacidade computacional, como *smartphones*, *video games* ou robôs. Além disso, a ferramenta deve oferecer interoperabilidade, suportando protocolos de comunicação de curto e longo alcance.
- R3. Oferecer *feedback* contínuo** - É essencial para qualquer solução de ToyUI prover um *feedback* contínuo para as ações dos jogos. As modalidades de *feedback* podem ser do tipo visual, auditivo e háptico.
- R4. Suportar diferentes características de brincadeira** - Brinquedos inteligentes podem misturar requisitos de brinquedos tradicionais e jogos e isso pode resultar em algumas modalidades físicas e sociais de jogos. Essas modalidades incluem competição social, colaborativa, brincadeira paralela, manipulação física e interação. As regras de jogos regulam essas modalidades. A ferramenta deve dar suporte para que os criadores possam implementar essas regras ao projetar o brinquedo.
- R5. Limitar a coleta de dados pessoais** - Como já discutido, a ferramenta deve limitar a coleta de dados a somente dados não pessoais. Além disso, deve dar suporte a coleta de dados de sistema de posicionamento local e sistema de posicionamento não pessoal pela combinação de protocolos de longo e curto alcance.

Dados que os requisitos (na seção de metodologia encontra-se, resumidamente, uma descrição desses requisitos) foram definidos, os autores em Albuquerque et al. (2020) classificaram as ferramentas para brinquedos inteligentes em dispositivos inteligentes, plataformas baseadas em realidade aumentada (RA), plataformas móveis e ferramentas modulares. A tabela 1 detalha as ferramentas existentes e realiza uma comparação com a IoT4Fun, apresentando as vantagens e desvantagens de cada uma delas.

Dispositivos inteligentes podem ser considerados brinquedos inteligentes por si mesmos. Eles são produtos prontos para serem utilizados e promovem a interconexão de dispositivos. Entretanto, eles possuem interfaces fixas, o que limita aos criadores apenas a edição das regras de jogos. Um exemplo desse tipo de dispositivo é o RaPIDO, cujo seu hardware está ilustrado na figura 2. Pode-se perceber que os componentes não são modulares, dificultando qualquer mudança na ferramenta. O RaPIDO é uma plataforma de prototipagem para computação física, que tem como alvo designers de interação com habilidades limitadas em eletrônica ou *software*.

Plataformas baseadas em realidade aumentada usam câmeras para detectar objetos utilizando técnicas de reconhecimento de marcadores (por exemplo, reconhecimento de cor, luz, textura entre outros). Um exemplo é a plataforma NikVision ilustrada na figura 3. Ela utiliza brinquedos convencionais que servem como *tokens* de mesa para controlar o jogo. Em contrapartida, as soluções baseadas nessas plataformas requerem configurações complexas de serem implementadas. Ainda nota-se que essas plataformas coletam com facilidade dados pessoais, como fotos dos rostos dos usuários, por exemplo.

| FPR | Tipo | Tecnologia | Requisitos atendidos |
|---------------------|--------------------------------|---|----------------------|
| RaPIDO | Dispositivo Inteligente | Arduino Mega, acelerômetro, 4 LEDs RGB, alto falante com cartão SD, motor de vibração e bateria. Interconexão via RF e RFID. | R2, R3, R4, R5 |
| Body Bug/Oriboo | Dispositivo Inteligente | CPU ARM7, memória flash de 512kB, giroscópio/acelerômetro, 6 LEDs RGB, alto falante, motor de vibração, motor de passo, tela touch e bateria. Pode se conectar via RF e é configurado via USB. | R3, R4, R5 |
| Sifteo Cubes | Dispositivo Inteligente | CPU ARM8, memória flash 8MB, giroscópio/acelerômetro, tela touch e bateria. Oferece conexão NFC e RF (2.4 GHz). | R2, R3, R4, R5 |
| Sketching LEGO | Plataforma baseada em RA | Computador padrão, câmera de alta definição e iluminação artificial para habilitar detecção de cor, placa de lego transparente. | R1, R4 |
| NIKVision | Plataforma baseada em RA | Computador padrão, câmera infravermelho, iluminação difusa infravermelho, microfone, alto falantes, monitor/TV, projetor de vídeo e espelho. | R1, R4 |
| Touch Token | Plataforma móvel baseada em RA | Reconhecimento de padrões multitoque de 3 coordenadas, aplicação Android (touchscreen). | R1, R4 R5 |
| TriPOD | Plataforma móvel | Modelo de reconhecimento de 3 coordenadas para identificação na tela sensível ao toque usando materiais condutores (pinos capacitivos e cooper). | R1, R4, R5 |
| Widgets | Plataforma móvel | Modelo de reconhecimento de 3 coordenadas para identificação na tela sensível ao toque usando materiais condutores (papel alumínio e fita condutora). | R1, R4, R5 |
| Flexibles | Plataforma móvel | Objetos impressos em 3D feitos de camadas de polímero condutor (cPLA) e camadas de elastômero dielétrico deformável (NinjaFlex TPU) e aplicação móvel. | R1, R4, R5 |
| MakeWear | kit de Ferramenta modular | Kit vestível composto de 32 módulos entre sensores, receptores, atuadores e modificadores para codificar comportamentos. Não oferece conectividade. | R1, R3, R4, R5 |
| Osmo's patent | Plataforma móvel baseada em AR | Espelho Osmo conectado à câmera frontal do tablet que permite a detecção de objetos, base Osmo, manipulativos e aplicativos móveis. | R1, R4 |
| Volumique's license | Plataforma móvel | Patente de reconhecimento de 3 coordenadas para criar manipuladores auto-capacitivos para aplicativos com tela de toque. | R1, R4, R5 |
| ePaw's license | Plataforma móvel | Placa de identificação sem contato (NFC / RFID) com uma antena de grade para identificar a posição relativa dos objetos marcados. | R1, R2, R4, R5 |
| Nintendo's Labo | Dispositivo Inteligente | Controlador JoyCon (rastreamento de movimento, sensor de profundidade, vibração), kits de papelão e console de jogos Switch. Oferece conexão NFC e Bluetooth. | R1, R2, R4, R5 |
| Sphero SPRK+ | Smart Device | Robô esférico incorporado com vários motores e sensores de rastreamento de movimento, proximidade e iluminação. Conectado com o aplicativo via Bluetooth. | R2, R4, R5 |
| Ozobot EVO | Dispositivo Inteligente | Robô semiesférico embarcado com motores e sensores óticos e de proximidade. Oferece conectividade NFC e Bluetooth. | R1, R2, R3, R4 |
| SAM labs | kit de Ferramenta modular | Componentes cúbicos modulares (sensores, atuadores, motores, conectores, jumpers, protoboards) para montar com os kits do fabricante e programáveis por aplicação. Conecta-se ao aplicativo via Bluetooth para suportar a codificação. | R1, R2, R3, R4, R5 |
| LittleBits | kit de Ferramenta modular | Componentes magnéticos modulares (sensores, atuadores, motores, conectores, jumpers, protoboards) para montar com os kits do fabricante e programáveis por aplicação. O kit possui módulos de RF ou Bluetooth para suportar conectividade. | R1, R2, R3, R4, R5 |
| IoT4Fun | Kit de Ferramenta modular | 8 módulos PCB são acopláveis com cabos flex ribbon (Arduino Mini Pro, 10 sensores DOF IMU, 3 LEDs RGB, alto-falante, motor de vibração, bateria e módulo de gravação USB). Os módulos de conexão oferecem protocolos de curto alcance (NFC / RFID) e de longo alcance (Wi-Fi ou Bluetooth / BLE). | R1, R2, R3, R4, R5 |

Tabela 1 – Comparação do IoT4Fun com outras ferramentas de prototipação rápida

Fonte: Albuquerque et al. (2020)

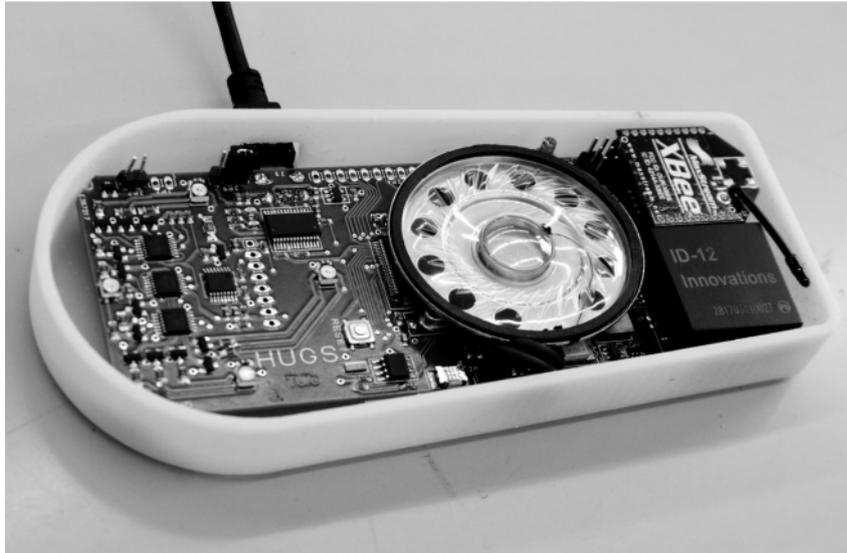


Figura 2 – Hardware do RaPIDO

Fonte: Soute et al. (2017)



Figura 3 – Jogo de Fazenda com a NKVision

Fonte: Marco, Cerezo e Baldassarri (2012)

As **plataformas móveis** utilizam tecnologias como multitoque ou sem contato para detectar objetos utilizando *smartphones* ou *tablets*. Essas soluções são mais seguras e menos complexas se comparadas com as plataformas de realidade aumentada, porém, ainda são limitadas para interagir com o token (por exemplo, os *tokens* devem ser postos nas telas sensíveis ao toque para serem reconhecidos). Um exemplo dessa plataforma é o TriPOD ilustrado na figura 4. Ele é um protótipo de um sistema capaz de reconhecer objetos físicos que podem ser colocados diretamente na tela do *tablet/smartphone* comum.

Por fim, as **ferramentas modulares** consistem em uma coleção de sensores, atuadores,

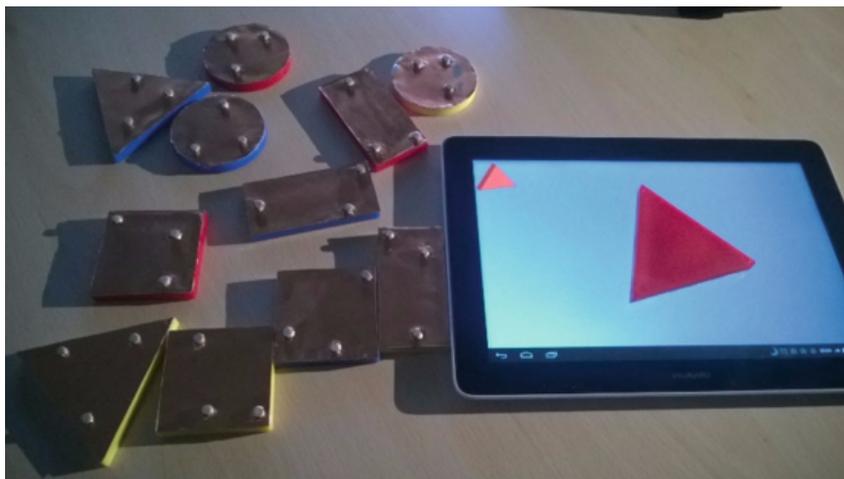


Figura 4 – Protótipo do TriPOD

Fonte: Fuccio, Siano e Marco (2017)

comunicadores e outros circuitos eletrônicos que são acopláveis e programáveis. Elas oferecem mais liberdade para a edição dos recursos de reprodução e de interface, pois permitem que os criadores selecionem os componentes que melhor se encaixam em seus projetos. Ainda assim, o nível de programação, tamanho e distribuição de componentes modulares podem limitar seus recursos de adaptabilidade. Portanto, uma especificação de hardware adequada é essencial ao implementar um kit de ferramentas modular (ALBUQUERQUE et al., 2020). As ferramentas da SAM Labs, por exemplo, têm uma plataforma modular e é reprogramável também. Porém, esses módulos têm tamanhos grandes o que dificultam sua adaptabilidade para alguns projetos.

Na indústria de brinquedos, encontram-se produtos compatíveis com as plataformas descritas. Primeiro, tem-se as soluções baseadas em realidade aumentada que, apesar de eficazes, estão focadas em manipulações de *tokens*. Os brinquedos de programação educacional, geralmente dispositivos inteligentes ou kits modulares, oferecem mais liberdade para editar recursos. No entanto, suas funções programáveis são para crianças, portanto, são limitadas ou não são de código aberto. Um bom exemplo são os Dinosaurs da linha CogniToys, que por sua vez pertencem a *Startup* The Elemental Path. Esses brinquedos podem ouvir e responder perguntas feitas por vozes de crianças, isso ocorre pelo fato do Dino se conectar ao banco de dados da IBM Watson chamado "Friendgine", que é um banco de dados adequado para crianças no *back-end* (RAFFERTY et al., 2017).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Como já mencionando na introdução, o projeto envolveu o aprimoramento da ferramenta de prototipação rápida IoT4Fun para facilitar o desenvolvimento de brinquedos inteligentes incluindo os cinco requisitos exigidos para FPR. A ideia é que a ferramenta auxilie os profissionais da indústria de brinquedos inteligentes facilitando na especificação e implementação

dos componentes eletrônicos nas fases iniciais do desenvolvimento de novos produtos. Desta forma, os profissionais poderão dedicar mais tempo na realização de testes e melhorias nos projetos, uma vez que o funcionamento dos componentes eletrônicos ficará assegurado pela IoT4Fun. Primeiro, em relação ao **requisito R1**, o IoT4Fun deve ser adaptável a diferentes projetos sem comprometer seu uso e suas funcionalidades essenciais. Dessa forma, esse requisito indica a miniaturização de hardware dos componentes. Utilizando a Tecnologia de Montagem Superficial (SMT) para produzir circuitos eletrônicos nos quais os componentes ou SMC (do inglês *Surface Mounted Components*) são montados diretamente sobre a superfície da Placa de Circuito Impresso (PCB), permitindo o aproveitamento de ambas as faces, excluindo assim, a necessidade do uso de fios entre os componentes. Porém, incorporar todos os componentes numa única placa não é viável, isso irá reduzir a adaptabilidade. A ferramenta incorpora também uma arquitetura modular para suportar uma melhor distribuição dos componentes de *hardware* nas restrições físicas de cada brinquedo inteligente. Além disso, a modularidade permite que os usuários da ferramenta selecionem apenas os componentes de *hardware* que eles precisam para cada projeto.

Pelo **requisito R2**, a IoT4Fun deve oferecer suporte a coleta de dados distribuída. Ela deve ser capaz de se conectar com outros dispositivos de computação, como *smartphones*, *tablets*, *video games* e robôs. Os canais de comunicação apoiam a transferência de dados dos brinquedos inteligentes com esses outros componentes da interface. A ferramenta deve dar suporte a interoperabilidade através de protocolos de comunicação de curto alcance, através do módulo *Near Field Communication (NFC)*, e de longo alcance com o módulo WiFi/Bluetooth.

O **terceiro requisito R3** requer que os brinquedos inteligentes forneçam um *feedback* contínuo para os usuários. Para fornecer esse *feedback*, a ferramenta suporta o design multimodal. Assim, a IoT4Fun oferece suporte para respostas visuais, auditivas e táteis através dos módulos de LED, alto falante com reprodução MP3 e motor de vibração respectivamente.

O **quarto requisito R4** defende que a ferramenta IoT4Fun deve apoiar a implementação de diferentes recursos de jogos. Ou seja, a ferramenta deve oferecer um meio para que os criadores consigam implementar as regras e comportamentos nos seus projetos. Para isso, o IoT4Fun utiliza a IDE do Arduino, usando as linguagens C e C++ e além de utilizar um *software* livre com uma comunidade bastante ativa, é compatível com várias placas e microcontroladores.

Por fim, o **requisito R5** ilustra a coleta de dados não pessoais, logo, brinquedos implementados com o IoT4Fun só devem coletar dados não pessoais. Além disso, como abordado anteriormente, o movimento de rastreamento de dados pode fornecer aos criadores uma gama de possibilidades. Vale salientar que, limitar a coleta de dados pessoais não minimiza a necessidade de políticas de privacidade e abordagens de segurança de dados adequadas.

A metodologia adotada nessa pesquisa está ilustrada no fluxograma da figura 5. Ela foi dividida em duas etapas: avaliação e proposição. Na etapa de avaliação do projeto foram realizados testes de desempenho, de consumo de energia, de robustez e de vulnerabilidade a ataques da versão anterior dos módulos da IoT4Fun, de modo a entender quais são as fragilidades e quais melhorias poderiam ser implementadas. Foram utilizados os *softwares* BLE Console e

NFC Tools para para simular ataques à ferramenta, além disso, foram utilizados multímetros e módulos sensores de corrente para ser possível levantar um gráfico de consumo de energia da bateria. Na etapa de proposição, foi realizado um estudo dos componentes e circuitos eletrônicos que estão no mercado para que se possa propor uma nova versão da ferramenta. Também foi definido o esquema elétrico da placa central e dos módulos através do *software* KiCad, além do desenvolvimento do *layout* da placa de circuito impresso. A prototipação das placas foi iniciada mas não foi possível atingir um resultado satisfatório.

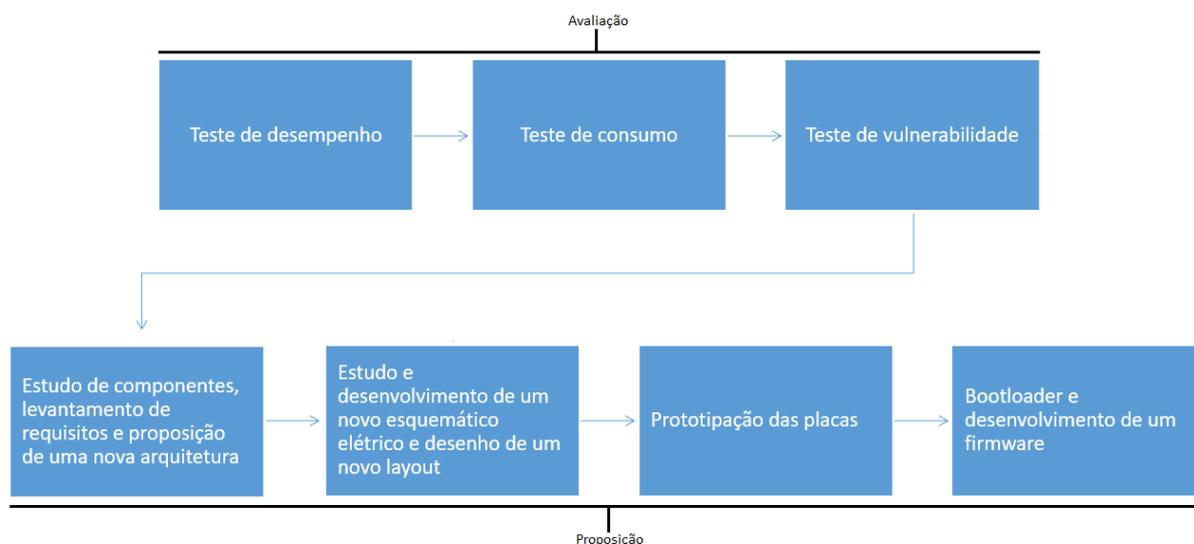


Figura 5 – Fluxograma da metodologia

Fonte: Autor

3.1 AVALIAÇÃO

Nesta etapa inicial averiguou-se a integridade, consumo de energia, robustez e vulnerabilidade da ferramenta IoT4Fun. A versão avaliada foi desenvolvida em 2018 e utilizada durante os cursos do programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Essa versão da ferramenta, ilustrada na figura 6, consistia de uma placa de circuito impresso (PCB) acoplada a um Arduino Pro Mini e a um acelerômetro MPU-6050 como módulo central. A placa continha 7 conexões para os seguintes módulos:

- Diodo emissor de luz (LED);
- Alto falante;
- Bateria de Íon-Lítio 3.7 V - 300 mAh;
- Motor de vibração;
- Bluetooth;

- *Near Field Communication* - PN532 NFC RFID; e
- Conversor USB Serial - FTDI232RL.

O módulo central era utilizado para controle e comunicação com os outros módulos e contém o giroscópio como sensor de rastreamento de movimento. Os módulos de LED, alto falante e motor de vibração servem para um *feedback* de saída visual, auditivo e tátil respectivamente. Os módulos NFC e Bluetooth são utilizados para comunicação de curto e médio alcance. Por fim, o módulo conversor USB serial permite programar a ferramenta diretamente de um computador, utilizando a IDE do Arduino.

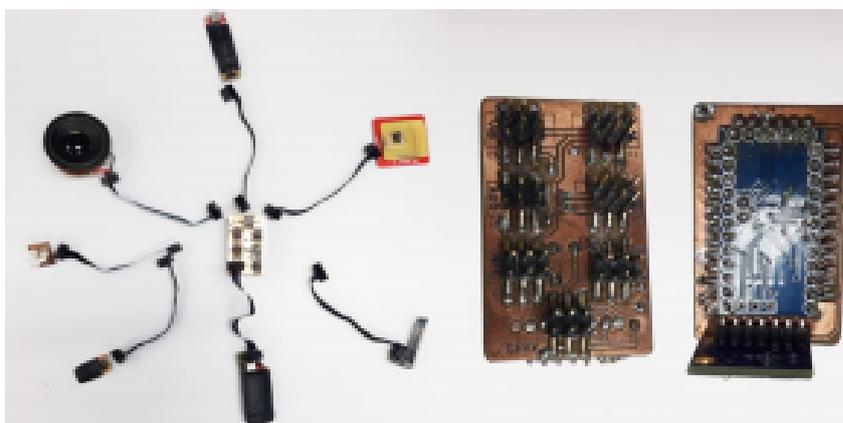


Figura 6 – Segunda versão do IoT4Fun

Fonte: Albuquerque et al. (2020)

Durante os cursos do programa de pós graduação foram criados 5 brinquedos inteligentes pelos alunos utilizando a ferramenta IoT4Fun, que estão ilustrados na figura 7. O Cube Music, um brinquedo inteligente inspirado nos brinquedos SIMON e no cubo de Rubik. O Cube pode ser utilizado por um aplicativo de música, no qual o jogador precisa memorizar a sequência musical e, em seguida, replicá-lo, girando o cubo.

Cobi é um brinquedo inteligente que se assemelha ao personagem Cookie Monster da Vila Sésamo. Os jogadores tentam acertar discos em forma de biscoitos dentro da boca do Cobi.

O Magic Potato consiste em uma batata que toca uma música por um determinado tempo até "explodir" e parar de tocar. O objetivo é enquanto a música toca, os jogadores vão passando a "batata" até que ela "exploda" na mão de algum jogador.

O Hula-hoop Hero se assemelha aos famosos jogos Guitar Hero e Just Dance da Nintendo, explorando a interação de corpo inteiro. O usuário brinca com o brinquedo inteligente de acordo com as instruções fornecidas por um aplicativo conectado ao brinquedo.

Por fim, o Zombie-tag oferece um jogo competitivo e multi-jogador. Um jogador utiliza a luva e os outros jogadores utilizam os braceletes. A ideia é que o jogador com a luva consiga pegar todos os jogadores com o bracelete.



Figura 7 – Brinquedos Implementados com a versão anterior da ferramenta IoT4Fun

Fonte: Albuquerque et al. (2020)

Durante os testes de uso da plataforma IoT4Fun incorporada nos brinquedos houveram relatos de defeitos decorrentes das placas e também do consumo de bateria. Portanto, foram necessários alguns testes mais detalhados nessa avaliação para averiguar os problemas ocorridos.

3.1.1 Testes de Integridade

Os cinco brinquedos criados incorporaram regras de jogo diferentes e utilizaram os módulos para diferentes fins. A tabela 2 mostra quais módulos foram utilizados em cada brinquedo criado.

| Módulo | Cube Music | Cobi | Magic Potato | Hula-hoop Hero | Zombie-tag |
|------------|------------|---------------------|-----------------|----------------|-------------------|
| Giroscópio | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x |
| NFC | x | ✓ | x | x | ✓ |
| BLE | ✓ | x | x | ✓ | x |
| Visual | x | ✓ | ✓ | x | ✓ |
| Auditivo | x | ✓ | ✓ | x | utiliza um buzzer |
| Háptico | ✓ | ✓ | ✓ | x | x |
| Bateria | ✓ | Alimentação externa | baterias extras | ✓ | ✓ |
| Gravador | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Tabela 2 – Uso da ferramenta IoT4Fun por brinquedo

Fonte: Autor

Os brinquedos desenvolvidos no segundo semestre de 2018 ficaram ociosos até abril de 2019, quando teve início a pesquisa para a elaboração deste artigo. Para verificar o desempenho

da ferramenta implementada nos brinquedos foi necessário realizar um padrão de testes que consistiu em:

- Verificar a integridade da bateria;
- Verificar as conexões de alimentação de cada módulo;
- Verificar a integridade de cada módulo separadamente; e
- Verificar a integridade da ferramenta com todos os módulos conectados.

Para verificar a integridade da bateria, foi necessário carregá-la completamente e depois realizar um teste de descarga. Todas as baterias utilizadas são de Íon-Lítio de 350mAh (miliampére-hora). A descarga foi feita a uma taxa C (C-Rate) igual a 1, ou seja, extraiu-se uma corrente igual à capacidade nominal da bateria. Nesse caso, a bateria alimentou um circuito que consumia 350mA e mediu-se o tempo dessa descarga. Posteriormente, com um multímetro fez-se um teste de continuidade nas ligações de alimentação dos módulos.

Para verificar o funcionamento de cada módulo da ferramenta, alimentou-se o módulo específico conectado ao módulo principal funcional. No módulo principal carregou-se um código de teste, e verificou-se o seu funcionamento. Por fim, conectou-se todos os módulos e foi verificado o funcionamento da ferramenta por completo.

3.1.2 Testes de Consumo

Como visto na tabela 2, cada brinquedo implementa módulos de diferentes formas. A fim de estimar a autonomia da bateria da ferramenta com esses módulos, foi realizado um teste de consumo em cada brinquedo. Para a utilização dos testes era necessário o arquivo compilado do projeto de cada brinquedo, foi usado o arquivo do tipo .h para abrir no IDE do Arduino e um multímetro. A bateria utilizada é do modelo Goldpower LP702035 3.7 V/350mAh. Os testes para consumo consistiam em analisar o código, identificar o funcionamento do brinquedo e medir a corrente com um transdutor (analógico ou digital) em série com a carga (microcontroladores e sensores). Alguns brinquedos tinham mais de um modo de reprodução, que foi identificado e foi medida a corrente de consumo em cada modo de reprodução. A figura 8 ilustra um modelo genérico de alimentação. Cada componente utilizado em nosso sistema consome corrente, porém, a corrente que nos dirá o real consumo da bateria é o i_s , sendo essa a corrente drenada diretamente da bateria.

A análise da corrente instantânea foi realizada através do método *current shunt* que consiste na leitura da corrente de consumo em um período de amostragem de 1 segundo durante o tempo de duração de cada brincadeira, utilizando o sensor de corrente ACS 712 5A em série com o kit (NAKUTIS, 2009). Com os valores dessas correntes instantâneas encontrou-se a corrente de consumo média. De posse dos dados de corrente de consumo médio para cada dispositivo é possível calcular uma estimativa para a duração da bateria, através de uma relação com a capacidade nominal de carga (normalmente em mAh), dada por:

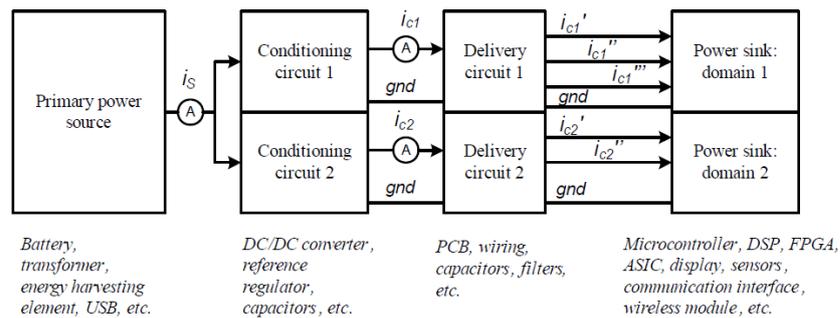


Figura 8 – Modelo de alimentação generalizada de sistemas embarcados

Fonte: Nakutis (2009)

$$Autonomia = \frac{CapC * 0,8}{ConM} \quad (1)$$

Onde:

- CapC = Capacidade da bateria (mAh).
- ConM = Consumo médio da carga (mA).

A multiplicação pela taxa de 80% dá-se pelo fato de baterias do tipo polímero de lítio, em geral, não funcionam até 0 Volts como fonte de alimentação, ou seja, o circuito para de funcionar com uma tensão definida antes que a bateria seja completamente drenada (DNK, 2019).

3.1.3 Testes de Vulnerabilidade

A análise de vulnerabilidade aponta os principais riscos para a segurança e privacidade dos dados de cada projeto utilizando a ferramenta IoT4Fun. As definições de potenciais vulnerabilidades foram baseadas na taxonomia de Shasha et al. (2018) que definem as vulnerabilidades para brinquedos inteligentes que têm aplicativos móveis conectados. Os autores classificam essas ameaças em tipos de acesso físico, próximo e remoto. Mais especificamente, são elas:

Acesso físico

- *Dados locais desprotegidos.* Uma pessoa má-intencionada pode recuperar dados armazenados localmente no brinquedo ou no aplicativo complementar, deixando-o desprotegido caso o brinquedo/dispositivo seja perdido, roubado ou vendido sem autorização.
- *Acesso físico não autorizado.* Uma pessoa má-intencionada pode configurar o brinquedo/dispositivo para encaminhar dados maliciosamente para sua conta ou emitir comandos prejudiciais à criança.

Acesso próximo

- *Acesso próximo não autorizado.* Um invasor pode baixar o aplicativo complementar em seu próprio dispositivo, conectar-se ao brinquedo e configurá-lo com códigos maliciosos.
- *Prática Bluetooth Insegura.* Aceitar conexões Bluetooth não autorizadas pelo brinquedo permite que pessoas mal-intencionadas se conectem ao brinquedo e alterem seu comportamento ou iniciem um ataque *man-in-the-middle* (MitM) para detectar as informações transmitidas entre o brinquedo e o aplicativo.
- *Prática NFC Insegura.* Não usar criptografia em cartões NFC permite o acesso às informações salvas no cartão além da possibilidade de clonagem.

Acesso remoto

- *Canais sem criptografia.* Troca de informações entre diferentes partes (brinquedo, aplicativo e hosts) podem ser suscetíveis à interceptação por meio de um ataque MitM (por exemplo, se HTTP for usado).
- *Negação de Serviço.* Troca de informações entre diferentes partes (brinquedo, aplicativo e hosts) podem ser suscetíveis à interceptação por meio de um ataque MitM (por exemplo, se HTTP for usado).
- *Acesso a banco de dados não autorizado.* Modificação do banco de dados no dispositivo móvel (altera os pontos do jogo, histórico de ações do usuário, etc).

3.2 PROPOSIÇÃO

A partir dos dados obtidos na etapa de avaliação foi possível iniciar a etapa de proposição. Nessa etapa há duas fases: a primeira é a fase de estudo onde definem-se propostas de melhorias nos componentes, propõe-se uma nova arquitetura, e a pesquisa de novos componentes. A segunda fase consiste em modelagem da nova placa que envolve a definição do esquemático elétrico e do desenvolvimento do *layout*. Nesta fase também estariam inclusos a confecção da placa, desenvolvimento de um *firmware* e documentação, que serão realizadas em um futuro próximo.

3.2.1 Fase de Estudo

A fase de estudo teve início com o levantamento dos requisitos para melhorias da ferramenta de prototipação rápida IoT4Fun. Esses requisitos já foram discutidos anteriormente e foram base para o desenvolvimento da arquitetura da IoT4Fun. Além disso, com os dados obtidos na seção de avaliação, pode-se propor melhorias mais específicas para a IoT4Fun. As melhorias levantadas foram:

- A ferramenta precisa ser miniaturizada para que possa ser facilmente adaptável;

- A ferramenta precisa ser mais robusta mecanicamente, visto que durante os testes, falhas de desempenho ocasionadas por choques mecânicos foram observados;
- A ferramenta precisa ser mais segura em relação a acessos externos, visto que a versão anterior era vulnerável a ataques.

3.2.2 Fase de Prototipação

A partir dos dados obtidos dos testes, e levando-se em consideração a arquitetura da ferramenta, pode-se iniciar a fase de remodelagem. As pesquisas feitas por componentes determinaram qual o *hardware* que cada módulo iria ter. Primeiro, por questões de miniaturização e liberdade da disposição dos componentes, o módulo central será criado utilizando uma montagem de superfície ao invés de utilizar uma plataforma pronta, como um Arduino, como a versão anterior possuía. Essa decisão se dá pelo fato de se ter maior liberdade ao dispor os componentes na placa de circuito impresso, podendo assim, miniaturizar e personalizar conforme seja necessário.

O microcontrolador utilizado é o atmega32u4, um um Microchip de baixa potência, AVR RISC de 8 bits, com memória flash programável de 32 KB, SRAM de 2,5 KB, EEPROM de 1 KB e contém conexão USB 2.0 de alta velocidade. O sensor acelerômetro MPU-6050 também estará embarcado nesta placa. Ele será composto por um giroscópio microeletromecânico (MEMS) de 3 eixos e um acelerômetro de 3 eixos na mesma matriz de silício, juntamente com um Digital Motion Processor (DMP) integrado. Visto que o acelerômetro trabalha com uma tensão máxima de operação menor que do microcontrolador, será utilizado um regulador de tensão. Ainda no módulo principal, utilizou-se conectores MOLEX KK pois eles têm travas para fixar a conexão.

Como já foi dito, a ferramenta IoT4Fun possui módulos atuadores, comunicadores e bateria. Os módulos atuadores são visuais, auditivos e táteis. Para o módulo visual escolheu-se um LED RGB SMD de alto brilho, sendo assim, pode-se ter um módulo menor. Diferentemente do módulo da versão anterior, que utilizava LEDs comuns. O módulo auditivo utilizará um alto falante, porém, será utilizado um micro speaker da DFRobot. Além disso, esse módulo terá incorporado um decodificador MP3. Para o tátil será utilizado um módulo PWM Servo. A ideia é que apenas uma entrada I2C possa-se controlar alguns motores simultaneamente. Para comunicação, continua sendo utilizado o módulo NFC para curto alcance. Porém, para as comunicações de longo alcance, será utilizado também o WiFi. Isso é possível com o ESP32 que no mesmo circuito integra WiFi e Bluetooth. Para configuração dos módulos será utilizada uma entrada serial, visto que o módulo principal tem suporte para conexões USB nativamente. Todos esses módulos serão alimentados por uma bateria de 5V. As diferenças de componentes utilizados na versão atual da ferramenta para a versão anterior foram resumidas na tabela 3.

O próximo passo da metodologia seria a confecção da placa e desenvolvimento do *firmware*. Visto que já houve um levantamento de requisitos, desenho da arquitetura, esquemático elétrico e desenvolvimento do *layout*, a ideia é utilizar algumas técnicas de prototipação de placas PCB e, posteriormente, soldagem dos componentes. Duas técnicas de prototipação de

| Módulos | Versão Anterior | Versão Atual |
|---------------------------|--|--|
| Principal | Arduino Pro mini Módulo MPU 6050 Módulo FTDI | Microchip atmega32u4 microchipMPU 6050 Micro USB - C |
| Visual | LED comum RGB | LED SMD RGB |
| Auditivo | Alto falante | mini alto falante módulo mp3 |
| Tátil | motor de vibração | PWM Servo Motor |
| Comunicação curto alcance | NFC | NFC |
| Comunicação longo alcance | Bluetooth | Bluetooth WiFi |

Tabela 3 – Comparativo versão anterior x versão atual da ferramenta IoT4Fun

Fonte: Autor

placas PCB foram pensadas e testadas. A primeira é por prensa térmica, que consiste em exportar um arquivo .SVG do *software* Kicad do *layout* da placa e imprimir em um papel fotográfico e posicionar numa placa de fenolite. Essa placa é então posta na prensa por tempo suficiente para que a tinta consiga ser transferida para a placa. Após isso a placa é corroída através de uma solução de percloroeto de ferro. Essa solução corrói o cobre que não tem tinta deixando as trilhas e vias intactas. A segunda técnica utilizada é através de uma prototipadora mecânica. Através do *layout* da placa pode-se gerar um arquivo .GBR com as camadas das trilhas e vias da placa. Dessa forma o programa lê esse arquivo e começa a perfurar a placa. Ilustrações desses dois processos estão nas figuras 13 e 14.

4 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO

Durante os testes de integridade funcional da plataforma IoT4Fun, verificou-se que no geral, todos os componentes estavam funcionando. No entanto, algumas partes das PCBs fabricadas foram danificadas após o teste (por exemplo, algumas trilhas de circuito e conectores). Isso acontece devido a ocorrência de colisões durante as brincadeiras. Os danos nas PCBs aparecem em dois módulos visuais, um módulo auditivo e um módulo Bluetooth. Isso sugere que a fabricação da PCB necessita ser melhor projetada e executada para garantir robustez.

Os testes de consumo de bateria buscaram estimar a autonomia da bateria de cada brinquedo construído com a IoT4Fun para encontrar aperfeiçoamentos a serem incluídos no projeto da nova ferramenta. A análise instantânea da corrente foi realizada como descrito na seção anterior. Ou seja, as medições foram feitas em cenários reais (sequências de brincadeiras) com cada brinquedo. Foram realizadas 5 medidas em cada brinquedo e calculado suas médias

através do *software* Octave. A figura 9 ilustra os resultados do consumo de corrente de todos os brinquedos implementados com a ferramenta e as suas médias.

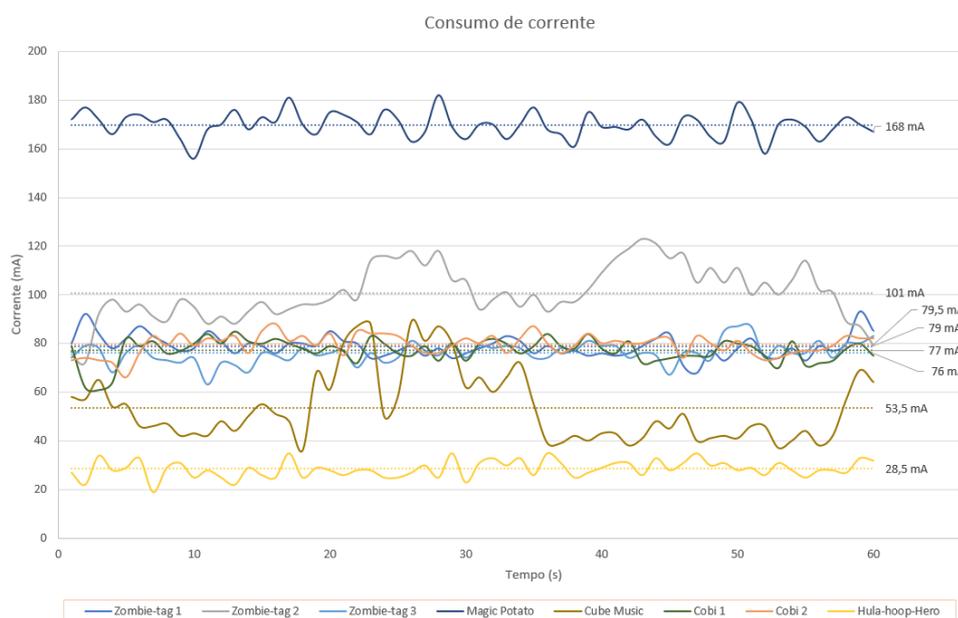


Figura 9 – Comparativo do consumo médio de corrente

Fonte: Autor

Analisando a figura 9 pode-se perceber alguns picos de consumo em determinados brinquedos. Isso ocorreu devido a implementação dos módulos em cada brinquedo. O Magic Potato, por exemplo, faz uso constante do motor de vibração e do alto falante, o que explica o seu consumo mais elevado. É possível também que o mesmo brinquedo, dependendo do modo de jogo escolhido, pode consumir mais energia. Uma vez sabendo o consumo médio, é possível estimar a autonomia da bateria de cada brinquedo. Na tabela 4, tem-se o cálculo da autonomia das baterias, sendo que a capacidade total do módulo da bateria é de 350mAh, usando a bateria LP702035 3,7 V. Vale salientar que o brinquedo Magic Potato usa um módulo de bateria adaptado com seis células de bateria trabalhando em paralelo; assim, estimamos sua capacidade total para 2100mAh, o que influencia em sua maior autonomia visto na tabela 4.

Além disso, a tabela 4 mostra uma análise de consumo atual separada dos três modos de reprodução do brinquedo Zombie-tag, são elas: (1) sobrevivente, (2) 60 segundos e (3) modo secreto. O brinquedo Zombie-tag tem um único *script* e usa as *tags* NFC para definir a linha de partida do *script*, que determina o modo de reprodução selecionado. O objetivo era comparar a autonomia da bateria dos mesmos módulos usando apenas partes diferentes do *script* de programação. Todos os modos de reprodução usam o NFC e os módulos visuais. O consumo médio de cada modo de reprodução demonstra que no modo (2) (o modo de 60 segundos) consome mais energia que os outros dois, resultando em perda de autonomia da bateria. Isso acontece porque os LEDs RGB sempre estão acesos no modo de 60 segundos, enquanto nos outros modos, eles servem como *feedback* para ações de jogo acionadas (por exemplo, pisca

quando pega um jogador ou mostra a ordem de pegar o próximo jogador).

| Protótipo | Consumo médio de Bateria | Autonomia da bateria (min) |
|----------------|--------------------------|----------------------------|
| Cube Music | 53.5mA | 305 |
| Cobi 1 | 79.5mA | 210 |
| Cobi 2 | 77mA | 215 |
| Magic Potato | 168mA | 600 |
| Hula-hoop Hero | 33.5mA | 501' |
| Zombie-tag 1 | 79mA | 216 |
| Zombie-tag 2 | 101mA | 171 |
| Zombie-tag 3 | 76mA | 221 |

Tabela 4 – Autonomia das baterias por brinquedo

Fonte: Autor

Os resultados sugerem que o consumo da bateria está principalmente relacionado às decisões de implementação, ou seja, quais componentes foram utilizados por um determinado tempo no brinquedo. Por exemplo, tanto Cobi e Magic Potato incorporam módulos visuais e auditivos, mas o módulo auditivo consome mais corrente. A Magic Potato precisava de mais consumo (168mA) do que o Cobi (80mA), pois solicita *feedback* contínuo de som quando ativo, enquanto o Cobi solicita por demanda (por exemplo, quando o jogador ganha e o Cobi reproduz um som). Vale salientar ainda que o Magic Potato utiliza motor de vibração, aumentando o consumo de corrente.

A análise de vulnerabilidade aponta os principais riscos para a segurança e privacidade dos dados de cada projeto. Como dito anteriormente, Shasha et al. (2018) definiram uma taxonomia de vulnerabilidade para brinquedos inteligentes que têm aplicativos móveis conectados. As ameaças foram classificadas em tipos de acesso físico e remoto. Na tabela 5, encontra-se os tipos de ameaças que se aplicam a ferramenta e cada solução de brinquedo inteligente. O IoT4Fun é sempre sensível a ameaça do tipo Acesso físico não autorizado uma vez que oferece um conversor USB para atualizar o módulo principal através de algum computador. Esse conversor pode tornar a programação e a atualização de conteúdo mais rápida e fácil de ser utilizada, mas pode ser usada para configuração maliciosa, pois não requer autenticação.

Como pode-se observar, as vulnerabilidades da ferramenta IoT4Fun são dependentes de como ela é implementada. Por exemplo, o IoT4Fun é sensível à ameaça "Acesso próximo não autorizado", mas os dois aplicativos móveis implementados não suportam a configuração de seus brinquedos inteligentes por meio deles (por exemplo, Cube Music e Hula-hoop Hero). No entanto, nenhuma das soluções empregaram padrões de segurança para oferecer suporte à proteção de dados locais, e os dois aplicativos conectados permitiam adulteração de informações e ameaças de negação de serviço. Observe que os itens de vulnerabilidade não cobrem cenários que usam a comunicação NFC, na qual ocorre a troca de dados entre dois componentes de brinquedo (por exemplo, Cobi e os discos do cookie). Assim, é necessário um novo item, do qual

| Vulnerabilidade | Cube Music | Cobi | Magic Potato | Hula-hoop Hero | Zombie-tag | IoT4Fun |
|--|------------|------|--------------|----------------|------------|---------|
| Acesso físico não autorizado | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Dados locais desprotegidos | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | * |
| Acesso próximo não autorizado | x | x | x | x | x | * |
| Prática Bluetooth insegura | ✓ | x | x | ✓ | x | * |
| canais sem criptografia | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | * |
| Negação de serviço | ✓ | x | x | ✓ | ✓ | * |
| Acesso banco de dados não autorizado | ✓ | x | x | ✓ | x | * |
| Prática NFC insegura | x | ✓ | x | x | ✓ | * |
| *A vulnerabilidade pode aparecer dependendo da implementação | | | | | | |

Tabela 5 – Vulnerabilidades de segurança e privacidade de dados do IoT4Fun e brinquedo

Fonte: Albuquerque et al. (2020)

denominou-se Prática NFC insegura que é semelhante à "Prática Bluetooth insegura", e a "canais sem criptografia" tendo sido adaptado para cobrir a comunicação NFC. Portanto, para tornar a análise de vulnerabilidades abrangente, é necessário testar a segurança dos módulos Bluetooth e NFC.

Primeiro, o aplicativo Android, chamado BLE Console, foi usado para examinar a segurança da conexão BLE. Como parâmetros para uma conexão BLE segura, considerou-se a requisição de uma autenticação do usuário se o endereço MAC mudar dinamicamente. Como resultado, os pares Cube Music e Hula-hoop Hero não tinham autenticação e apresentaram endereços MAC fixos. O aplicativo BLE Console permite acessar as informações de brinquedos inteligentes que incluem todos os dados não pessoais enviados pela porta serial (ou seja, informações de rastreamento de movimento), tais como informações do fabricante, como modelo, número de série e revisão de *firmware*. Da mesma forma, o aplicativo NFC Tools oferece suporte para examinar a segurança da conexão NFC. Embora a NFC seja uma tecnologia mais segura do que outros protocolos de autenticação, ela ainda abre violações para a divulgação de dados. As comunicações NFC nas tags Cobi e Zombie não foram criptografadas. Portanto, o atacante tem a oportunidade de obter informações das tags (discos e tags do Cobi) ou do leitor (Cobi e a zombie-tag). Usando o aplicativo NFC Tools, é possível acessar dados não pessoais salvos nas tags NFC, e não há uma opção para limitar as informações da etiqueta para leituras adicionais

uma vez que é possível reescrever a informação de *tag*.

5 RESULTADOS DA PROPOSIÇÃO

A figura 10 ilustra a arquitetura da ferramenta IoT4Fun que reúne todos os cinco requisitos elucidados. Ela consiste de oito placas eletrônicas modulares, sendo que o módulo central contém um microcontrolador AVR integrado a um sensor de movimento, possuindo entrada para alguns módulos atuadores: visual, auditivo e tátil; e também para os módulos comunicadores: Wi-Fi/Bluetooth, NFC e USB, além de possuir um módulo para uma bateria e conexão USB para facilitar a configuração.

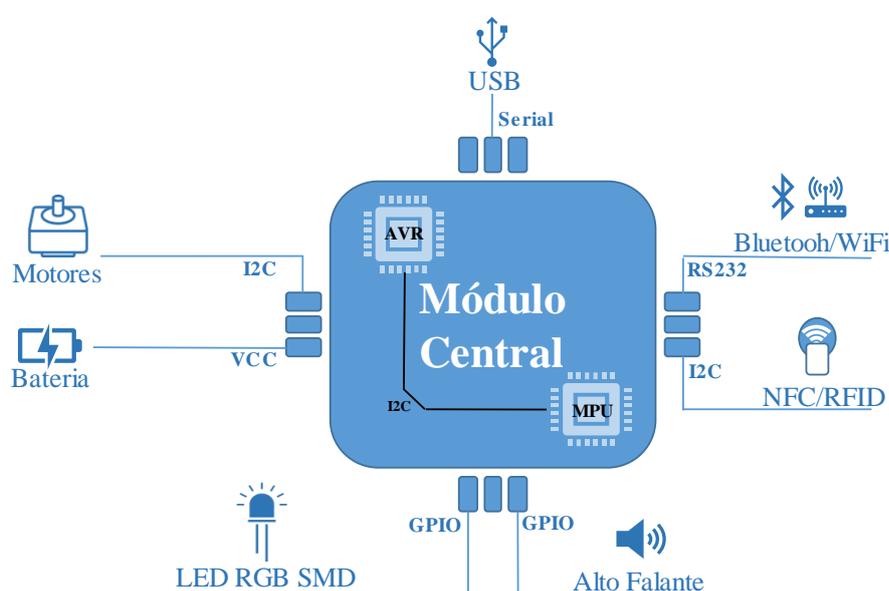


Figura 10 – Arquitetura da Ferramenta IoT4Fun

Fonte: Adaptado de Albuquerque e Kelner (2019)

Para atender aos requisitos de brinquedos inteligentes e com a arquitetura proposta ilustrada na figura 10, foi necessário realizar uma pesquisa de componentes que seriam os mais adequados para atender os requisitos levantados. Além disso, era necessário saber quais plataformas utilizavam ideias semelhantes, além das que foram explanadas na tabela 1. Estudou-se algumas plataformas de microcontroladores de tamanho reduzido objetivando a implementação na IoT4Fun. Três plataformas merecem destaque: Microduino, Atto e Digispark. Suas placas têm tamanhos reduzidos e compatibilidade com a IDE do Arduino. Os módulos Microduino são empilháveis, suportam a programação scratch e têm uma comunidade ativa, porém, têm um custo mais elevado e são mais difíceis de serem compradas. O Atto e o Digispark são módulos baratos e utilizam o mesmo microcontrolador, o atmega32u4. Esse microcontrolador tem entrada serial sendo possível configurar os módulos diretamente da USB. Porém, são placas com poucas portas e ainda pouco acessíveis, visto que, a exemplo do Atto, ainda estão em fase de desenvolvimento.

O IoT4Fun precisa ter uma comunicação de curto e longo alcance. Portanto, os módulos de comunicação escolhidos foram NFC, Bluetooth e WiFi. Uma placa em destaque é a ESP32 que integra as tecnologias Bluetooth Low Energy e WiFi, que se adequa a nossa proposição de melhorias na IoT4Fun.

Para o módulo de áudio, pesquisou-se uma forma de integrar sons no formato .MP3. Nesse caso, o DFPlaymer mini atende a esse requisito. Ele traz um leitor de cartão de memória e quando conectado a algum *speaker* consegue reproduzir arquivos no formato MP3.

Para o desenvolvimento da nova placa, levou-se em consideração os requisitos citados nas seções anteriores. Com isso pôde-se elaborar a arquitetura base para a nova versão da ferramenta como ilustrado na figura 10. Antes de desenvolver o circuito numa PCB, foi necessário projetar o esquema elétrico. o esquemático do módulo central pode ser observado na figura 11, em que foi utilizado o software KiCad para a elaboração. No módulo principal há 5 blocos de componentes importantes. O primeiro é o próprio microcontrolador, utilizando o atmega32u4 que possui uma alimentação de 5V. Vale ainda salientar o uso de um cristal oscilador de 16 MHz que serve para dar o sinal de clock. O segundo bloco é o do acelerômetro MPU 6050. Como determinado na arquitetura, eles se comunicam através dos pinos I2C (SLC e SDA) e é alimentado com uma tensão de 3.3 V. Outro componente importante é o capacitor C3 que serve para garantir que sinais externos não alterem a polarização do circuito nesse ponto.

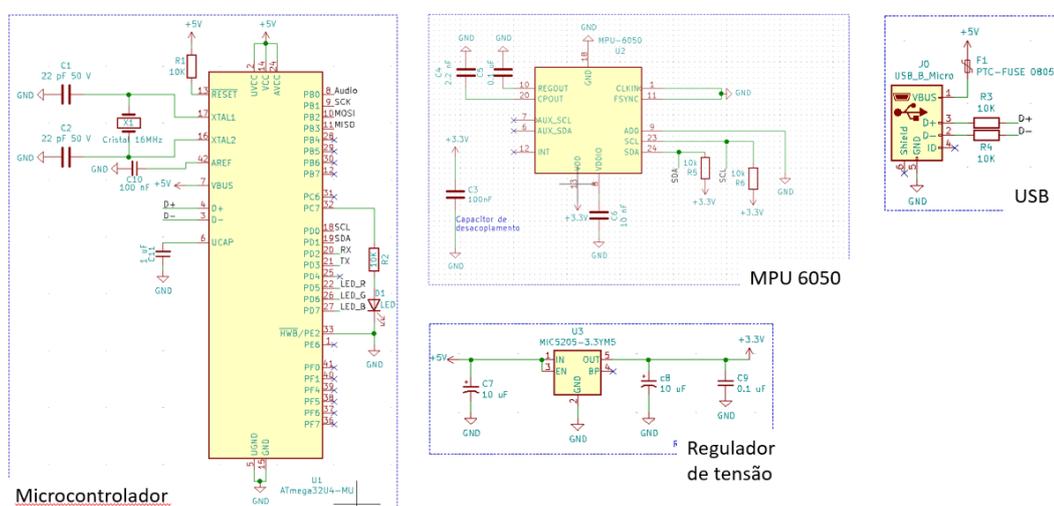


Figura 11 – Esquemático do módulo central da ferramenta IoT4Fun

Fonte: Autor

Pode-se perceber que a alimentação do microcontrolador e do acelerômetro são diferentes. A alimentação do MPU pode variar de uma tensão de 2.375V até 3.46V, limitação da fabricante do MPU. Nesse caso, é necessário um regulador de tensão e será utilizado o MIC5232, assim, um sinal de entrada de 5 V é regulada para 3.3 V e será possível alimentar o acelerômetro.

O quarto bloco é o USB que será utilizado para conectar diretamente o módulo central com uma porta USB de algum outro dispositivo, podendo, assim, ser facilmente configurável. Na

entrada existe um fusível térmico, o PTC 0805, um micro USB tipo B, sendo largamente usado nas prototipações atuais. Por fim, tem-se o bloco de Interface, em que as especificações para as conexões com os outros módulos da ferramenta estão localizadas. Há uma diferença de pinos por módulo pois cada módulo tem sua especificidade de conexão. Todos os módulos utilizam conectores Molex KK pois eles têm travas de conexão, deixando o acoplamento mais robusto. Dado que o esquemático foi validado, ou seja, todas as conexões são certificadas pelo software, pode-se obter o layout da placa, como pode ser vista na figura 12.

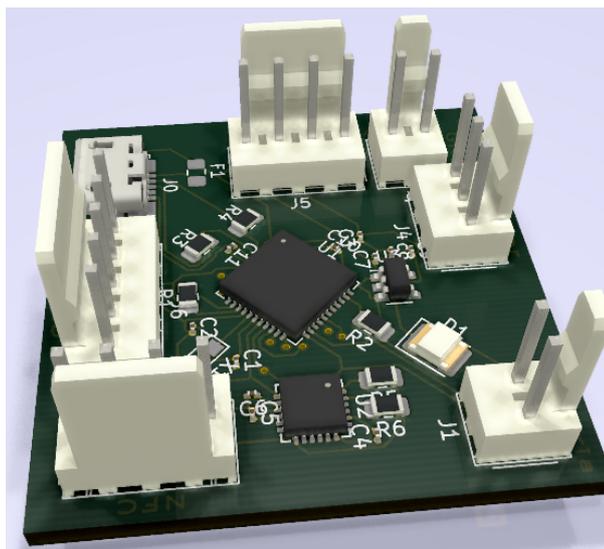


Figura 12 – Visualização 3D do layout do módulo central

Fonte: Autor

Com o esquemático pronto e o *layout* definido, foi iniciada a confecção das placas PCB dos módulos. O primeiro passo é a confecção das trilhas da placa. Algumas técnicas podem ser utilizadas, a primeira delas foi a técnica da prensa térmica, que foi explicado na metodologia. Visto que essa técnica utiliza uma solução química para corrosão, utilizamos uma panela para aquecer a solução e catalisar a reação, como está ilustrado na figura 13.



Figura 13 – Confecção da placa PCB: a) corrosão b) prototipadora

Fonte: Autor

O próximo passo desse método foi soldar os componentes. Utilizando um ferro de solda e uma pasta de fluxo, colocou-se primeiro os componentes integrados (microcontrolador

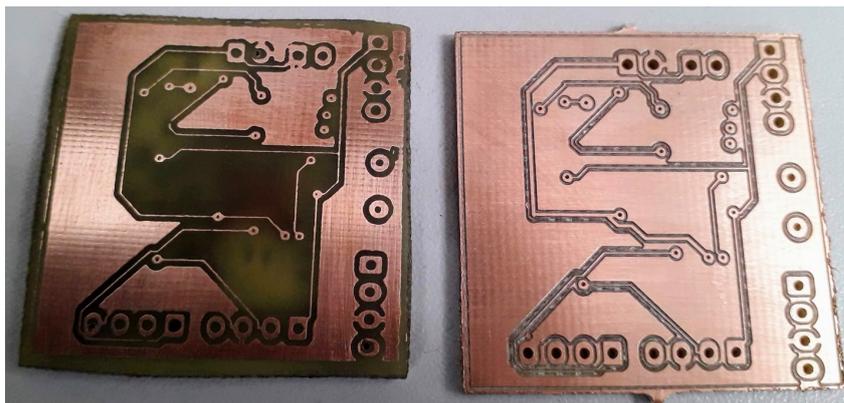


Figura 14 – Placas PCB utilizando as técnicas: a) prensa térmica b) prototipadora mecânica

Fonte: Autor

AVR e o giroscópio MPU), posteriormente os demais componentes. Com a placa principal pronta, deve-se iniciar o *bootloader* no microcontrolador. Pelo fato do atmega32u4 ter sido comprado sem nenhum *firmware*, precisa-se atualizá-lo para que o microcontrolador possa ser programado. Isso pode ser feito através do *bootloader*, um programa inicializador, cujo objetivo geralmente é de preparar o *hardware* para o funcionamento correto da aplicação e/ou aplicar atualizações dessa aplicação. Como a ideia é que o IoT4Fun possa ser programado através do Arduino (IDE), utilizou-se a própria IDE para fazer esse processo. Para programar o *bootloader* e fornecer ao microcontrolador a compatibilidade com a IDE, é necessário usar um ISP (*In-circuit Serial Programmer*) que é o dispositivo que se conecta a um conjunto específico de pinos do microcontrolador para executar a programação de toda a memória flash, incluindo o *bootloader*. O procedimento de programação do ISP também inclui a gravação de fusíveis: um conjunto especial de bits que define como o microcontrolador funciona em circunstâncias específicas. Todo o processo de carregar o código do *bootloader* e programar corretamente os fusíveis para transformar um microcontrolador ATmega em um "Arduino", e ser assim programável pela IDE, é gerenciado pela própria IDE que fornece as especificações mínimas e permite o uso de diversos dispositivos de programação. Para utilizar o ISP, usamos um Arduino UNO como programador: carregando o código para queimar os fusíveis do microcontrolador alvo, o Atmega do IoT4Fun.

Visto a dificuldade da técnica de prensa térmica e também a sua propensão à falhas que envolve trabalhos manuais, buscou-se outra técnica para elaboração das trilhas. Um problema comum, por exemplo, é a prensa espalhar a tinta e cria curtos na placa. Outro método encontrado foi utilizar uma prototipadora mecânica, a LPKF Protomat S63, ilustrado na figura 13. O processo envolve exportar um arquivo GBR do Kicad com todas as camadas utilizadas. A LPKF desenha e corta as trilhas automaticamente em um tempo menor e com maior segurança. Na figura 14 tem-se as face inferior do módulo central onde pode-se ver a comparação da elaboração das trilhas utilizando as duas técnicas: do lado esquerdo utilizando a prensa térmica e do lado direito utilizando a prototipadora mecânica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As abordagens das ferramentas de prototipação rápida para brinquedos inteligentes incluem dispositivos inteligentes, kits modulares, soluções baseadas em AR e móveis. No presente artigo, explanamos uma proposição de melhorias para a Iot4Fun, uma ferramenta de prototipação rápida genérica e inovadora para brinquedos inteligentes de diferentes formas e tamanhos. Isso foi feito através de testes das versões anteriores, estudo de melhorias e experimentos realizados para desenvolvimento da nova versão da placa.

Definiu-se que a nova versão da placa da ferramenta deveria ser menor que a anterior, para ser de adaptação fácil aos diversos tamanhos de projetos, mais robusta utilizando circuitos integrados próprios tanto quanto possível, e mais segura a acessos externos.

No desenvolvimento das placas, testamos duas técnicas de fabricação, uma utilizando prensa térmica e corrosão por Percloro de Ferro e a outra utilizando uma máquina prototipadora. A máquina prototipadora fabrica de forma mais rápida e é menos susceptível a falhas deixando um melhor acabamento das trilhas. Utilizou-se um processo de atualização de firmware conhecido como *Bootloader* que faz com que a placa possa ser programada pela IDE do Arduino, facilitando assim, sua programação.

O presente trabalho serviu de base para o artigo *IoT4Fun Rapid Prototyping Toolkit for Smart Toys* de autoria de Anna Priscilla de Albuquerque, Judith Kelner, Thiago Dias Nogueira e Railton Silva Rocha Junior, com data de publicação para janeiro de 2020.

6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Visto que nem a placa e, conseqüentemente nem o *firmware*, foram concluídos em tempo hábil, relatamos alguns fatores que influenciaram esse resultado. A técnica de corrosão, por exemplo, mostrou problemas para circuitos com trilhas próximas, pois, ao passar pela prensa, a tinta se espalhava criando curtos na placa. Isso pode ser visualizado e reparado com um microscópio onde pode-se riscar com uma agulha os pontos onde encontra-se o curto. Outro fator contra essa técnica é a não transferência completa da tinta para a placa de fenolite. Muitas vezes algumas trilhas não eram fixadas na placa sendo necessário utilizar uma caneta de tinta permanente para corrigir.

Para confecção da placa através da prototipadora também encontramos algumas dificuldades. Pelo requisito R1, as placas deveriam ser miniaturizadas e, com isso, utilizamos componentes SMD. Esses componentes têm pinos de conexões muito pequenos. Por exemplo o atmega32u4 utiliza pinos de 0.25 mm. Ao tentar confeccionar trilhas com esse diâmetro as trilhas processão não eram possíveis de serem fixadas pois o sulco feito na placa era profundo. Isso foi corrigido mudando as configurações padrões da máquina, porém, as trilhas ainda saiam mais finas do que o proposto no Kicad. Isso se deve, também, a uma desregularem da própria prototipadora.

O processo de soldar os componentes é outro desafio. Os CIs do atmega32u4 e do giroscópio MPU 6050 têm um encapsulamento *Quad Flat No leads* QFN. Esse encapsulamento

põe os pinos de conexão na parte inferior dos componentes. A vantagem é que o componente ocupa menos espaço nos circuitos e a desvantagem é que a complexidade na solda é maior. Utilizamos técnicas de solda primeiramente através da estação de solda. O problema é que o ferro de solda tinha a ponta muito mais grossa do que as trilhas dos componentes, dificultando o processo e facilitando a geração de curtos. A segunda técnica de solda foi através da estação de ar quente. Para isso utiliza-se uma pasta de solda para que dificulte os curtos, porém, o ar normalmente tira o alinhamento do componente com as trilhas.

Também foi utilizado uma panela elétrica para solda, consistindo na utilização de uma solda em pasta (diferente da pasta de solda) que é uma mistura de estanho e chumbo pastoso que em altas temperaturas fica na forma líquida e endurece rapidamente quando resfriada. Essa pasta, porém, não é incolor e ao utiliza-la, não há como enxergar os pinos de conexão dos CIs.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Em um futuro próximo, as placas PCB poderão ser confeccionadas em alguma empresa, para dar continuidade ao processo de desenvolvimento da ferramenta de prototipação rápida IoT4Fun. Com o hardware pronto, pode-se desenvolver um *firmware* para a ferramenta, como proposta de segurança. Essa melhoria deve ser implementada levando em consideração as vulnerabilidades encontradas na versão anterior evitando que as mesmas continuem existindo.

Versões futuras da ferramenta podem incorporar outros tipos de conexão para os módulos, como conectores magnéticos, por exemplo. Isso além de miniaturizar, facilitaria o encaixe. Projetos futuros com essa ferramenta podem incorpora-la a robôs sociais e consoles de jogos, podendo servir tanto como uma outra interface ou como uma extensão desse console e/ou robô.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, A. P. de; KELNER, J. Toy user interfaces: Systematic and industrial mapping. **Journal of Systems Architecture**, v. 97, n. 25, p. 77–106, 2018.
- ALBUQUERQUE, A. P. de; KELNER, J. Non-personal data collection for toy user interfaces. In: HICSS, 52., 2019, Hawaii. **Proceedings of the 52th Hawaii International Conference on System Sciences**. Pernambuco, Brasil: AIS, 2019.
- ALBUQUERQUE, A. P. de et al. Iot4fun rapid prototyping toolkit for smart toys. In: HICSS, 53., 2020, Hawaii. **Proceedings of the 53th Hawaii International Conference on System Sciences**. Hawaii: AIS, 2020.
- BROWN, K. The children's toy industry in nineteenth-century britain. **Business History**, Routledge, v. 32, n. 2, p. 180–197, 1990.
- CAGILTAY, K.; KARA, N.; AYDIN, C. C. Smart toy based learning. In: SPECTOR, J. M. et al. (Org.). **Handbook of Research on Educational Communications and Technology**. 4. ed. Nova York, NY, USA: Springer, 2013. cap. 56, p. 703–711.
- CCFC. **You did it! Hello Barbie is a flop**. 2016. Disponível em: <<https://commercialfreechildhood.org/you-did-it-hello-barbie-flop/>>. Acesso em: 24 nov. 2019.
- CONSTINE, J. Apple acquires talking barbie voicetech startup pullstring. **TechCrunch**, São Francisco, EUA, 15 fev. 2019. Disponível em: <<https://techcrunch.com/2019/02/15/apple-buys-pullstring-toytalk/>>. Acesso em: 11 set. 2019.
- CUNHA, E. de O.; GARBIN, A. História de brinquedo. **Jornal Cidadania**, São Paulo, Brasil, v. 26, n. 2, 2014.
- DHAR, T.; WU, T. Mobile computing toys: Marketing challenges and implications. In: HUNG, P. C. K. (Org.). **Mobile Services for Toy Computing**. 1. ed. Oshawa, Ontario, Canada: Springer, 2015. cap. 3, p. 39–49.
- DNK. **How To Calculate Battery Run Time**. 2019. Disponível em: <<https://www.dnkpower.com/how-to-calculate-battery-run-time/>>. Acesso em: 19 out. 2019.
- FUCCIO, R. D.; SIANO, G.; MARCO, A. D. Tripod: A prototypal system for the recognition of capacitive widget on touchscreen addressed for montessori-like educational applications. In: ROCHA, et al. (Org.). **Recent Advances in Information Systems and Technologies**. 1. ed. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 664–676.
- Hexa Research. **Smart Toys Market Size and Forecast, By User (Toddlers, Pre-schoolers, School-going, Stripling), By Distribution Channel (Convenience Stores, Specialty Stores, Online Channel) and Trend Analysis, 2019 - 2025**. Califórnia, EUA, 2019. 65 p.
- Juniper Research. **Smart Toys: Hardware, Technology Leading Vendors 2017-2022**. Hampshire, Inglaterra, 2017. 76 p.
- LEGO. 2019. Disponível em: <<https://www.lego.com/en-ca/product/firehouse-headquarters-75827>>. Acesso em: 11 set. 2019.
- MARCO, J.; CERESO, E.; BALDASSARRI, S. Tangible interaction and tabletops: New horizons for children's games. **Int. J. of Arts and Technology**, v. 5, p. 151 – 176, 04 2012.

MASCHERONI, G.; HOLLOWAY, D. Introducing the internet of toys. In: _____. **The Internet of Toys : Practices, Affordances and the Political Economy of Children's Smart Play**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 01–24.

MCREYNOLDS, E. et al. Toys that listen: A study of parents, children, and internet-connected toys. In: . [S.l.: s.n.], 2017. p. 5197–5207.

NAKUTIS Žilvinas. Embedded systems power consumption measurement methods overview. In: . [S.l.: s.n.], 2009.

NIJHOLT, A. **Playful User Interfaces: Interfaces that Invite Social and Physical Interaction**. Dordrechtdoi, Nova York: Springer, 2014.

PEÑA, A. C. E. **La Multimedia como Recurso para el diseño de juguetes**. Monografía (Graduação em Design de Objetos) — Universidad del Azuay, Cuenca, Equador, 2018.

RAFFERTY, L. et al. Towards a privacy rule conceptual model for smart toys. In: _____. **Computing in Smart Toys**. Ontario, Canada: Springer International Publishing, 2017. p. 85–102.

RAFFERTY, L.; KROESE, B.; HUNG, P. C. K. Toy computing background. In: _____. **Mobile Services for Toy Computing**. 1. ed. Ontario, Canada: Springer International Publishing, 2015. cap. 2, p. 9–38.

SHASHA, S. et al. Playing with danger: A taxonomy and evaluation of threats to smart toys. **IEEE Internet of Things Journal**, Montreal, Canada, v. 6, n. 2, p. 2986–3002, 2018.

SOUTE, I. et al. Design and evaluation of rapido, a platform for rapid prototyping of interactive outdoor games. **ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)**, Nova York, NY, USA, v. 24, n. 28, p. 1–30, 2017.

SPHERO. 2019. Disponível em: <<https://support.sphero.com/article/s05p2qtgcj-getting-started-with-bb-8>>. Acesso em: 13 dez. 2019.

WIRZ, B. Shopping for smart toys as an investor. **Brighteye Ventures**, Paris, França, 11 set. 2018. Disponível em: <<https://www.brighteyevc.com/single-post/2018/01/18/Shopping-for-Smart-Toys-as-an-Investor>>. Acesso em: 11 set. 2019.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N778i

Nogueira, Thiago

IoT4Fun: Análise do Hardware existente e proposta de uma nova placa / Thiago Nogueira. - 2019.
32 f. : il.

Orientador: Judith Kelner.

Coorientador: Roberto Kenji Hiramatsu.

Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Eletrônica, Cabo de Santo Agostinho, 2020.

1. Brinquedos Inteligentes. 2. Prototipação rápida. 3. Sistemas Embarcados. 4. IoT. I. Kelner, Judith, orient. II. Hiramatsu, Roberto Kenji, coorient. III. Título

CDD 621.3
