

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
COMPUTAÇÃO APLICADA

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO
IOT LÚDICO PARA MONITORAMENTO DE
VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Fábio Lopes Brezolin

Passo Fundo

2018

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

**DESENVOLVIMENTO DE UM
DISPOSITIVO IOT LÚDICO PARA
MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS
AMBIENTAIS**

Fábio Lopes Brezolin

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Computação
Aplicada na Universidade de Passo Fundo.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Sandini Trentin

Passo Fundo

2018

CIP – Catalogação na Publicação

B846d Brezolin, Fábio Lopes
Desenvolvimento de um dispositivo IOT lúdico para
monitoramento de variáveis ambientais / Fábio Lopes
Brezolin. – 2018.
61 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Sandini Trentin.
Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) –
Universidade de Passo Fundo, 2018.

1. Informática – Educação. 2. Internet na educação. 3.
Monitorização ambiental. 4. Hardware. I. Trentin, Marco
Antônio Sandini, orientador. II. Título.

CDU: 004:37

Catalogação: Bibliotecária Marciéli de Oliveira - CRB 10/2113

**ATA DE DEFESA DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO ACADÊMICO**

FÁBIO LOPES BREZOLIN

Aos quinze dias do mês de março do ano de dois mil e dezoito, às 9 horas, realizou-se, no Instituto de Ciências Exatas e Geociências, prédio B5, da Universidade de Passo Fundo, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso "**Desenvolvimento de um dispositivo IOT Lúdico para monitoramento de variáveis ambientais**", de autoria de Fábio Lopes Brezolin, acadêmico do Curso de Mestrado em Computação Aplicada do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada – PPGCA/UPF. Segundo as informações prestadas pelo Conselho de Pós-Graduação e constantes nos arquivos da Secretaria do PPGCA, o aluno preencheu os requisitos necessários para submeter seu trabalho à avaliação. A banca examinadora foi composta pelos doutores Marco Antônio Sandini Trentin, Luiz Eduardo Schardong Spalding e Max Cirino de Mattos. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, a banca examinadora considerou o candidato APROVADO. Foi concedido o prazo de até quarenta e cinco (45) dias, conforme Regimento do PPGCA, para o acadêmico apresentar ao Conselho de Pós-Graduação o trabalho em sua redação definitiva, a fim de que sejam feitos os encaminhamentos necessários à emissão do Diploma de Mestre em Computação Aplicada. Para constar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da banca examinadora e pela Coordenação do PPGCA.


Prof. Dr. Marco Antônio Sandini Trentin - UPF
Presidente da Banca Examinadora
(Orientador)


Prof. Dr. Luiz Eduardo Schardong Spalding - UPF
(Avaliador Interno)


Prof. Dr. Max Cirino de Mattos - Lataci
(Avaliador Externo)


Prof. Dr. Rafael Rieder
Coordenador do PPGCA

Para os amigos que me ajudaram a transformar sonhos em desafios, e desafios em códigos e circuitos, permitindo-me discutir sonhos muito longe de casa. Para minha esposa Priscila e filha Alice, que estiveram ao meu lado durante essa aventura.

AGRADECIMENTOS

À minha família.

Ao meu orientador Dr. Marco Trentin.

Aos pesquisadores Ericles Bellei e Dr. João Mário Lopes Brezolin, essenciais para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao analista Cassiano Bandeira de Oliveira Velloso, responsável por transformar ideias obscuras em códigos e circuitos.

Aos colegas de mestrado, maiores incentivadores deste projeto.

A UniBB – Universidade do Banco do Brasil – pelo apoio institucional e financeiro para a realização desta pesquisa.

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO IOT LÚDICO PARA MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS

RESUMO

Esta dissertação apresenta o desenvolvimento de um dispositivo IoT com fins educacionais, incluindo avaliações da potencialidade do mesmo, junto a usuários sem conhecimento técnico acerca do funcionamento dessa tecnologia. Foi desenvolvido o dispositivo, equipado com sensores que captam dados sobre variáveis ambientais para exibição da informação localmente e também em uma interface web. O projeto integrou três aspectos principais: tecnologia, pessoas e gestão de recursos por meio de IoT. A gestão de recursos IoT foi realizada por meio do acesso ágil, projetado na metodologia simplificada de autenticação para acesso aos recursos do dispositivo desenvolvido. Para avaliar esse protótipo, foram conduzidos testes com grupos de alunos que interagiram com o dispositivo IoT e com uma interface web vinculada ao mesmo, registrando suas impressões acerca do funcionamento do ambiente do dispositivo. O objetivo das avaliações com os usuários foi verificar a viabilidade de incorporar um dispositivo IoT em sala de aula, mais especificamente para alunos do ensino fundamental, de forma intuitiva e visando estimular uma rápida aceitação da tecnologia ao cotidiano. A validação do processo de autenticação oportunizou o aprofundamento do estudo e uma análise da interação entre pessoas e os dispositivos IoT, considerando aspectos como a aparência visual do dispositivo, personalização e integração de outras tecnologias, como telas *touchscreen*. Constatou-se também que o modelo de autenticação simplificado é adequado para utilização em ambientes reduzidos, como a sala de aula, exemplificando um modelo de autenticação ágil e adequado à mobilidade dos aparatos IoT, como uma alternativa às soluções convencionais.

Palavras-Chave: Controle de Acesso, Hardware, Internet das Coisas, Monitoramento Ambiental.

DEVELOPMENT OF A LUDIC IOT DEVICE FOR MONITORING WEATHER VARIABLES

ABSTRACT

This dissertation presents the developing an IoT device for educational purposes, including the evaluation of its potentiality, by users without technical knowledge about the operation of this technology. A prototype was developed and equipped with sensors that capture data from environmental variables and display information locally and also in a web interface. The project integrates three main aspects: technology, people and resource management through IoT. IoT resource management was realized through agile access and designed with a simplified authentication methodology to access the features of the developed device. To evaluate this prototype, tests were conducted with groups of students that interacted with the IoT device and with a web interface linked to it, registering their impressions about the functioning of the device ecosystem. The objective of the evaluations with the users was to verify the feasibility of incorporating an IoT device in the classroom, more specifically for elementary students, in an intuitive way and aiming to stimulate a fast acceptance of this technology on their daily life. The validation of the authentication process made it possible to deepen the study and analysis of the interaction between people and IoT devices, considering aspects such as the visual appearance of the device, personalization and integration of other technologies, such as touchscreen. It was also verified that the simplified authentication model is suitable for use in small environments, such as the classroom, exemplifying an authentication model that is fast and suitable for the mobility of IoT devices, as an alternative to conventional solutions.

Keywords: Access Control, Hardware, Internet of Things, Weather Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Dispositivo GreenBee	20
Figura 2.	Dispositivo AIRWISE	20
Figura 3.	Modelos de notações do modelo AEGIS	21
Figura 4.	Esquema Eletrônico das Versões Inicial e Final da Brezobomba	22
Figura 5.	Brezobomba, dispositivo construído com um extintor de incêndio.	22
Figura 6.	Conjunto de hardware do dispositivo	23
Figura 7.	Captura de dados na interface do monitor <i>touchscreen</i> local	24
Figura 8.	Arquitetura da plataforma de comunicação do dispositivo com serviços externos	24
Figura 9.	Modelo de autenticação tradicional.	25
Figura 10.	Proposta Modelo de Autenticação	26
Figura 11.	Método de Autenticação.	27
Figura 12.	Interface do sistema controle de acesso	27
Figura 13.	Decisão do Administrador de Acesso.	28
Figura 14.	Estatísticas de visualização de dados	28
Figura 15.	Protótipos dos ícones utilizados	29
Figura 16.	Tela em que o usuário solicita acesso aos dados oriundos do dispositivo IoT .	29
Figura 17.	Interface gráfica da página web para visualização dos dados.	30
Figura 18.	Aplicações de testes e interação	32
Figura 19.	QAG – Questionário de avaliação geral	33
Figura 20.	Resultados do QAG	34
Figura 21.	Verso QAG, Desenho da Composição do Dispositivo	35
Figura 22.	Resultados QAG – Desenho da Composição do Dispositivo	35
Figura 23.	Desenhos resultados da pergunta sobre o funcionamento da Brezobomba. . .	36
Figura 24.	QAU – Questionário de avaliação de Usabilidade	37
Figura 25.	Kits de Desenvolvimento e Construção.	37
Figura 26.	Resultados do QAU para preferência de montagem do dispositivo	38
Figura 27.	Ideias dos participantes para a identidade visual do dispositivo	38
Figura 28.	Aceitação do uso de <i>touchscreen</i>	39

LISTA DE SIGLAS

ABAC – Attribute-based Access Control

CPU – Central Processing Unit

HDMI – High-Definition Multimedia Interface

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IOT – Internet of Things

QAG – Questionário de Avaliação Geral

QAU – Questionário de Avaliação de Usabilidade

RA – Roteiro de Atividades

RBAC – Role-based Access Control

RIE – Roteiro de Introdução ao Experimento

UML – Unified Modeling Language

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	INTERNET OF THINGS	15
2.2	CONTROLE DE ACESSO PARA INTERNET OF THINGS	16
2.3	AUTENTICAÇÃO	17
2.4	USABILIDADE	18
2.4.1	Técnicas de Avaliação de Usabilidade	18
2.4.2	Usabilidade e a relação com a Segurança da Informação	19
2.5	TRABALHOS RELACIONADOS	20
2.5.1	Dispositivo GreenBee	20
2.5.2	Dispositivo AIRWISE	20
2.5.3	Metáforas para o Controle de Acesso Simplificado	21
3	O DISPOSITIVO DESENVOLVIDO: BREZOBOMBA	22
3.1	ESTRUTURA DE HARDWARE	23
3.2	PLATAFORMA PARA COMUNICAÇÃO EXTERNA	24
3.3	MODELO DE AUTENTICAÇÃO	25
3.3.1	Interface do Administrador	27
3.4	INTERFACE WEB PARA VISUALIZAÇÃO DOS DADOS	28
4	ANÁLISES E APLICAÇÕES DO DISPOSITIVO IOT DESENVOLVIDO	31
4.1	AMBIENTE DE TESTES	31
4.2	QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO GERAL	32
4.2.1	Desenho da Composição do Dispositivo	35
4.3	QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE USABILIDADE	36
4.3.1	Aspectos da Composição do Dispositivo	37
4.3.2	Aspectos Visuais do Dispositivo	38
4.3.3	Aspectos de Interação com o Dispositivo	39
4.4	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AS APLICAÇÕES DO DISPOSITIVO	39
5	CONCLUSÃO	41

REFERÊNCIAS	43
APÊNDICE A – Questionário de Avaliação Geral - QAG	47
APÊNDICE B – Questionário de Avaliação de Usabilidade - QAU	53
APÊNDICE C – Desenho Esquemático Dispositivo Brezobomba	59

1. INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) representa um novo paradigma, que permite que as pessoas interajam com um ambiente por meio de dispositivos eletrônicos, sem ter de conhecer aspectos técnicos dos sistemas. A convergência de diversas tecnologias surgidas nas últimas décadas permitiu a criação de ambientes interativos repletos de recursos e possibilidades [1].

A preocupação com questões ambientais tornou-se o alvo de discussões acerca da qualidade de vida da população em geral. A diminuição da qualidade do ar é um problema que impacta na qualidade de vida de todas as pessoas, implicando problemas de aprendizado, baixa da produtividade no trabalho e riscos à saúde [2]. Nesse sentido, o problema da poluição e, conseqüentemente, o comprometimento da qualidade do ar recebe cada vez mais atenção. O seu monitoramento pelas autoridades responsáveis, profissionais de saúde e pesquisadores recebeu um novo estímulo com o surgimento de dispositivos IoT [3].

Segundo Barnaghi [4], a oportunidade de implementar inteligência em aparatos IoT oferecem uma série de serviços, dentre os quais pode-se destacar sua capacidade de monitorar o clima e variáveis ambientais. Em relação ao monitoramento da qualidade do ar, diversas estratégias foram desenvolvidas com a adoção dos dispositivos eletrônicos [3, 5]. Tradicionalmente, tratam-se de sensores estáticos. Entretanto, o tamanho e o dispendioso custo de manutenção dessas estações fez com que esse modelo fosse gradualmente substituído por novas propostas. A democratização de diversas tecnologias por meio da Internet permitiu uma visível mudança na interação das pessoas com o ambiente [6].

Em aparatos tecnológicos, para estabelecer uma experiência agradável e intuitiva, é preciso desenvolver soluções que abstraiam características técnicas de funcionamento e disponibilizem serviços de forma prática [7]. A IoT pode permitir que, em uma primeira experiência, pessoas que até então não tinham contato com dispositivos eletrônicos conectados a Internet, passem a se familiarizar com a tecnologia. Entretanto, a complexidade de aliar e trabalhar com software, hardware e redes de comunicação heterogêneas, nem sempre são traduzidas em sistemas intuitivos para o usuário comum. Uma grande variedade de métodos de desenvolvimento estão a disposição na literatura, mas frequentemente as necessidades do usuário confiadas as fases finais de entrega do sistema não são bem atendidas [6, 8].

Nesse contexto, chegou-se ao seguinte problema de pesquisa: Como desenvolver sistemas intuitivos, adequados ao paradigma da IoT, integrando tecnologias, pessoas e sistemas de acesso? Dessa forma, o objetivo geral desta pesquisa é: Desenvolver um sistema vinculado a um dispositivo IoT, exemplificando princípios de usabilidade em aplicações práticas.

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- A construção de um dispositivo IoT lúdico e de baixo custo para monitoramento de variáveis ambientais e aplicação em contexto educacional;

- O desenvolvimento de uma plataforma na web para a comunicação externa do dispositivo e visualização de dados oriundos do mesmo em uma interface web;
- O desenvolvimento de uma metodologia de testes com usuários para avaliação das tecnologias e técnicas empregadas no desenvolvimento do dispositivo e de sua plataforma.

O ganho esperado desta pesquisa é a introdução de processos metodológicos em desenvolvimento de sistemas IoT, capazes de reduzir o tempo e aumentar a assertividade, gerando maior eficiência e aceitação dessa tecnologia no cotidiano das pessoas. Ciente da importância do estudo em auxiliar o desenvolvimento de sistemas em constante inovação, a delimitação do trabalho e a abordagem escolhida não tem como objetivo solucionar problemas técnicos investigados em controle de acesso e desempenho de hardware, mas exemplificar técnicas que possam auxiliar futuras pesquisas e desenvolvimento de sistemas mais adequados aos seus usuários. O propósito envolve também investigação de procedimentos e características de IoT integrando tecnologias acessíveis ao usuário comum.

A metodologia de pesquisa utilizada foi a exploratória. O percurso metodológico, incluindo a produção científica decorrente da evolução do mesmo, dividiu a pesquisa nas seguintes etapas:

1. Levantamento bibliográfico e revisão de literatura sobre IoT, Usabilidade envolvida e Controle de Acesso;
2. Especificação detalhada, modelagem e desenvolvimento da primeira versão do dispositivo;
3. Apresentação do artigo Proposição de um Sistema de Autenticação Simplificado e Interativo com Dispositivo IoT. In: II Workshop Regional de Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais, 2017, Santa Maria. Anais da XV Escola Regional de Redes de Computadores. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação.
4. Identificação e adequação do protocolo de testes.
5. Apresentação do artigo Avaliando a Aceitabilidade de uma Interface com Dispositivo IoT para Aplicação em Sala de Aula. In: VIII Encontro Anual de Tecnologia da Informação, 2017, Frederico Westphalen. Anais do EATI - Encontro Anual de Tecnologia da Informação e Semana Acadêmica de Tecnologia da Informação. Frederico Westphalen: IFFar/UFSM, 2017. v. 7. p. 62-68.
6. Implementação de uma segunda versão do dispositivo;
7. Revisão e experimentação dos testes de conhecimento de tecnologias;
8. Apresentação de um artigo sobre o andamento no projeto no evento do artigo no Prêmio INFI-Febraban, realizado na Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (FEA – USP)¹;

¹Notícia disponível em <http://www.upf.br/ppgca/noticia/mestrando-da-upf-apresenta-artigo-no-premio-infi-febraban>

9. Publicação do artigo do Prêmio INFI-Febraban no periódico Tekton;
10. Execução dos testes de usabilidade finais.

A dissertação de mestrado aqui apresentada é dividida em cinco capítulos. No segundo capítulo apresenta-se uma visão geral acerca do cenário atual e dos principais estudos que subsidiam a utilização de dispositivos IoT, sistemas de acesso e usabilidade, por meio de uma revisão de literatura. No terceiro capítulo, é detalhada a arquitetura de hardware e software do protótipo do dispositivo desenvolvido, descrevendo sua organização, sua comunicação dos componentes e sua interface de utilização. No quarto capítulo é apresentada a análise de aplicação do projeto, mostrando suas possíveis aplicações e a validação do modelo proposto por meio de testes realizados envolvendo alunos do ensino fundamental. Por fim, na Conclusão estão algumas considerações sobre os objetivos alcançados e os próximos passos com o projeto de trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica, pontuando a contextualização e perspectivas do estado da arte da IoT e a sua relação com usabilidade e o controle de acesso para autenticação. Procurou-se referências que abordassem a aplicação prática no desenvolvimento de sistemas e dispositivos, indicando melhorias nas implementações dos métodos e processos envolvidos.

2.1 INTERNET OF THINGS

O termo IoT – *Internet of Things* – foi cunhado em 1999 por Kevin Ashton, em uma apresentação na empresa Procter and Gamble. Para Ashton [8], a IoT é uma rede de dispositivos dotados de tecnologia embarcada e sensores capazes de coletar e transmitir dados para a Internet.

Satyanaryanan[9] comenta que a essência da IoT reside na criação de ambientes saturados de computação, visando a capacidade de comunicação para que sejam integrados com a vida humana. Para Whitmore [6], a IoT é um paradigma em que objetos possuem identificação, funcionalidades de sensoriamento e conectividade, assim como capacidade de processamento, que permitem a comunicação entre eles e com outros dispositivos e serviços através da Internet.

A IoT não é resultante de uma nova tecnologia isoladamente, trata-se de diversos progressos tecnológicos. Para Landay [10], IoT é uma multiplicidade de dispositivos computacionais, leves, baratos e de fácil configuração, que atuam como um facilitador de comunicação entre indivíduos, grupos e “coisas”, que são dispositivos.

Chebudie [11] detalha que os componentes centrais de um sistema IoT podem ser identificados como *Dispositivos*, que são artefatos técnicos responsáveis por mediar uma ponte entre o mundo físico e um sistema digital, e *Middleware*, que é a camada de software que reside entre o dispositivo e o usuário responsável por capturar, processar e armazenar os dados.

Diversos autores apontam para a necessidade da IoT prover a visualização dos dados de forma abstraída e usual. Dentre eles, Kjær [12], que identifica a existência de diversos *middleware* responsáveis por prover uma heterogeneidade de dispositivos e contexto de informação.

Quanto ao relacionamento com o usuário, o componente central de um sistema ou dispositivo é sua interface, nome dado a porção com a qual o usuário mantém contato ao utilizá-lo [13]. Moran [14] explica que uma interface deve ser entendida como uma parte de um sistema computacional com a qual uma pessoa entra em contato perceptiva ou conceitualmente. Nesse sentido, atender a necessidade do usuário é a função mais relevante no desenvolvimento de um sistema interativo. Siewerdt et al.[15] apontam que o ambiente IoT apresenta características que se diferenciam das aplicações convencionais e, conseqüentemente, trazem a necessidade de novas recomendações para realização de testes de usabilidade.

A adoção da IoT exige das organizações uma compreensão além do usual. A habilidade de combinar tecnologias para criar ambientes intuitivos influencia a quantidade e a relevância das informações, assim como torna necessário desenvolver sistemas que tenham seu funcionamento centrado nas pessoas [8]. Neste contexto, existem duas metodologias que se destacam no cenário de desenvolvimento de ambientes IoT.

A primeira delas, proposta por Gubbi [16], tem como componente crítico a visualização dos dados provenientes dos dispositivos, nos quais ocorre a interação do usuário com o sistema, e que deve ser desenvolvida para ser atrativo e de fácil entendimento. Para o autor existem três elementos em um sistema IoT: (a) *Hardware*: sensores, atuadores e a comunicação; (b) *Middleware*: sistemas de armazenamento, gerenciamento e análise de dados; (c) *Presentation*: sistemas responsáveis de disponibilizar os dados.

A segunda proposta, de Atzori [17], demonstra uma abordagem conjunta que requer esforços sinérgicos de várias comunidades, como industrial, comercial, acadêmica entre outras. Nela, os interesses na integração dos mundos físico e cibernético tornam a interoperabilidade dos mesmos um problema desafiador, o que evita que as soluções genéricas sejam adotadas em uma escala global. Para o autor, o volume, a velocidade e a volatilidade dos dados IoT impõem desafios significativos aos sistemas de informação existentes.

Em geral, o estado da arte em IoT tende a considerar aspectos isolados de hardware, conectividade ou segurança. No entanto, a natureza dinâmica da IoT requer considerações de desenvolvimento que considerem, também, a sua relação com seus usuários.

2.2 CONTROLE DE ACESSO PARA INTERNET OF THINGS

O conceito mais fundamental de segurança em um sistema é identificar quem está utilizando seus recursos. O sistema deve internamente registrar os acessos de seus usuários refletindo a orientação de seus administradores [18]. Os primeiros computadores não tinham necessidade de autenticação. O simples controle físico do ambiente assegurava sua utilização. Entretanto na década de 1960, com a possibilidade de compartilhar recursos computacionais, surge a necessidade de mecanismos de proteção. Os primeiros estudos sobre a diferença entre proteção física de segurança de acesso foram feitos pela Força Aérea Americana e indicavam a necessidade do computador internamente distinguir os níveis de segurança, identificando seus usuários através de decisões de autorização [19]. Esses níveis de segurança deram origem a três princípios dos controles de acesso: usuário, recurso e privilégio.

O primeiro modelo de controle de acesso a ser aceito como padrão foi o ABAC (*Attribute-based Access Control*), em que era atribuído ao usuário um conjunto de acessos de forma individual [18]. No início da década de 1990, com a disseminação da Internet e a necessidade de transpor as tecnologias de acesso para áreas civis [20], o modelo RBAC (*Role-based Access Control*) surgiu como uma alternativa mais ágil de gerenciamento, possibilitando definir papéis aos usuários de acordo com seu nível de acesso. O modelo RBAC apresentava maior aceitação tanto em ambientes acadêmicos

como profissionais [21]. Sua aceitação se dá principalmente porque os papéis refletem a estrutura das organizações de forma intuitiva. A mesma define um conjunto de elementos básicos: usuários, papéis, operações, permissões e objetos. Nesse ambiente, um usuário exerce vários papéis, e um papel pode ser atribuído a vários usuários.

A arquitetura de controle de acesso geralmente é composta por um monitor de referências, que é responsável por intermediar as tentativas de acesso, assim como encaminhar sua decisão para o artefato ou indivíduo guardião do recurso executa a decisão permitindo ou negando acesso do usuário ao recurso protegido [22].

Singh [23] considera que a segurança em IoT é desafiadora, e que ambientes críticos, como veículos autônomos, drones ou redes de energia requerem fortes garantias de autenticação. Para Roman [24], objetos IoT deve passar por importantes obstáculos antes de se tornarem totalmente incorporados a nossas vidas. Entre os obstáculos, está a segurança da informação. O autor aponta ainda que as convencionais técnicas de segurança não são suficientes para garantir todos as necessidades destes novos ambientes, cabendo aos pesquisadores descobrir a real extensão desses obstáculos. Para Vermesan e Friess [1], a IoT requer uma variedade de controles de acesso associados a papéis de usuários e esquemas de utilização. A heterogeneidade e diversidade dos dispositivos IoT, por sua essência simplificada, também requerem o desenvolvimento de um controle de acesso também simplificado e leve.

2.3 AUTENTICAÇÃO

A autenticação é o processo de provar a própria identidade a alguém. O nome vem do grego “*αυθεντικός*”, (real, genuíno), e “*authentes*” (autor). A autenticação é um processo utilizado para estabelecer confiança entre duas entidades, baseando-se na identificação de cada entidade[25].

Para Sandhu [26], a autenticação precede a autorização, que utiliza políticas para limitar o acesso a usuários autorizados legítimos. A autenticação do usuário é um dos itens mais centrais das políticas de segurança e, também, um serviço de individualização do usuário perante o ambiente. Segundo Power [27], o acesso não autorizado representa um problema em potencial para as organizações, de ordem interna e externa, já que o acesso por pessoas não detentoras desse privilégio expõe a organização a riscos financeiros.

O processo de autenticação depende de um ou mais fatores. Tradicionalmente, os sistemas dependem de informações que o usuário possui, como senhas ou características biométricas como a impressão digital, que frequentemente exigem dispositivos acessórios para serem obtidas. Ainda que existam uma variedade de métodos de autenticação a disposição, a sua escolha impacta diretamente na experiência do usuário e na performance do sistema. Uma presunção básica de um sistema de acesso é que seu desenvolvimento defina os usuários, suas identificações e papéis que terão no sistema. No momento que os projetos chegam a implantação da política de segurança, a grande maioria dos desenvolvedores tende a utilizar um serviço de autenticação já implementado, tanto pela facilidade de adaptação desses sistemas, como pelo custo.

2.4 USABILIDADE

Nos conceitos da IEEE [28], usabilidade é o termo utilizado para definir a facilidade do método pelo qual um usuário pode interagir, aprender a operar, preparar entradas e interpretar saídas de um sistema ou componente. A democratização do uso da Internet nas últimas décadas levou a tecnologia para o cotidiano de grande parcela da população mundial. Entretanto, a utilização desses sistemas muitas vezes se mostra complexa para pessoas não familiarizadas com seu uso.

O desenvolvimento de sistemas precisou convergir aspectos técnicos à compreensão humana e a experiência do usuário. Para Lowdermilk [29], ao projetar sistemas colocando o usuário como o centro do processo de desenvolvimento, consegue-se manter o foco das necessidades, aumentando a produtividade e evitando possíveis erros de escopo e aceitação. A relação das pessoas com os ambientes adquiriu novas funcionalidades com o advento da IoT, sendo que a interação direta com as informações afeta substancialmente a forma de relacionamento entre as pessoas e os sistemas [4].

Joly [30] aponta que a utilização de elementos figurativos, como ícones que representam e metaforizam objetos da vida real, definem a potencialidade de uma interface. Os componentes visuais servem como indicação sensorial para que o usuário reconheça ou aceite uma interação, facilitando o entendimento e a aceitação do sistema. O reconhecimento dos ícones exhibe seu estado e sua função sem a necessidade de explicação ao usuário, tornando o sistema mais amigável [31]. Joly [30] também considera a imagem com uma linguagem visual composta de diversos tipos de signos e como uma ferramenta de expressão e de comunicação. Seja ela expressiva ou comunicativa, é possível admitir que uma imagem sempre constitua uma mensagem para o outro, mesmo quando o outro é o próprio indivíduo.

Satyanarayanan [9] afirma que um sistema só pode se tornar bem incorporado se souber a intenção do usuário. Muitas pesquisas têm sido feitas sobre a melhor forma de se compreender quem é o usuário e o que ele está tentando realizar, entre elas, técnicas de avaliação de usabilidade.

2.4.1 Técnicas de Avaliação de Usabilidade

O princípio central do desenvolvimento de um sistema intuitivo é que um bom desenvolvimento é resultado das necessidades dos seus usuários [31]. Essa relação é orientada por testes de usabilidade. Cuello e Vittone [32] defendem que os testes de usabilidade devem ser aplicados nas fases iniciais do projeto, servindo como orientação no desenvolvimento do sistema. Dumas e Redish [33] estruturam os testes de usabilidade com cinco características: (a) Seu objetivo é prover a usabilidade do produto; (b) Os participantes representam usuários reais; (c) Os usuários executam tarefas reais; (d) Os avaliadores observam e registram participantes; (e) Os avaliadores analisam os dados e recomendam mudanças.

Para Barbosa [13], os testes de usabilidade tem como objetivos gerais: (a) validar a eficácia da interface através da efetiva realização das tarefas por parte dos usuários; (b) Verificar a eficiência dessa interação e a facilidade do usuário de interagir com o sistema; (c) Obter indícios de satisfação ou insatisfação na interação considerando aspectos subjetivos.

Creswell [34] sugere a utilização de uma abordagem mista, com dados qualitativos como a melhor forma de avaliar uma interface. Barbosa e Silva [13] indicam o questionário como forma de mensurar os dados quantitativos e reforça que as questões devem ser simples e objetivas, adaptadas ao contexto e particularidades dos usuários. Norman [35] recomenda que os questionários qualitativos sejam aplicados logo após os testes quantitativos, pois é nessa ocasião que o participante tem mais facilidade de expressar suas memórias e sensações.

2.4.2 Usabilidade e a relação com a Segurança da Informação

O desenvolvimento de sistemas de acesso tende a ser conservador, entretanto a necessidade de tornar os sistemas mais simples e transparentes faz surgirem questionamentos quanto a usabilidade e o impacto desses sistemas de controle para os usuários [24].

A adoção de modelos de autenticação mais simplificados na visão do usuário gera dúvidas quanto a tecnologia que deve ser aplicada. Diversas alternativas técnicas têm se apresentado na literatura durante os últimos anos, mostrando como autenticar o usuário sem a necessidade de memorizar senhas ou portar dispositivos adicionais. De acordo com Gaivéo [36], devem destacar-se os impactos da segurança nas atividades das pessoas e das organizações, e devem ser considerados em padrões adequados que permitam garantir que as atividades associadas ao planejamento, a implementação e ao teste da segurança, sejam abrangidas por um conjunto de métricas que possibilitem sua avaliação em momentos posteriores [37].

Pereira e Paiva [38] mencionam que existe um pensamento de que efetuar melhorias em usabilidade afeta a segurança de modo negativo, e vice-versa, *i.e.*, quanto maior facilidade de usar um sistema de informação, maiores são os riscos à sua proteção. Isso acontece por um lado, pelo conflito de interesses que existe entre os desenvolvedores de sistemas e os utilizadores, vista a existência de relatos de que muitas vezes os sistemas interativos não atendem as necessidades dos utilizadores [39]. Por outro lado, Yee [40] atribui esse conflito aos desenvolvedores de sistemas que tratam a segurança ou a usabilidade como complementos para um produto já acabado. Pereira e Paiva [38] ainda discordam da perspectiva de que usabilidade é inversamente proporcional a segurança, afirmando que eficácia dos sistemas interativos é diretamente proporcional à sua usabilidade. Os autores dizem que a usabilidade reduz falhas na segurança por parte dos utilizadores, sejam intencionais ou não [37].

Fléchais [41] menciona que as pessoas comprometem senhas quando as tecnologias não são adequadas às suas expectativas e necessidades, e também não são os contextos sociais e culturais motivadores de comportamentos seguros. O autor também aponta que é evidente a necessidade de especialistas técnicos em segurança, porém, especialistas em design de segurança são profissionais ainda em construção.

2.5 TRABALHOS RELACIONADOS

Esta sessão apresenta os principais trabalhos de pesquisas relacionados. Apresenta-se duas propostas, GreenBee[3] e AIRWISE[5], que apresentam modelos de monitoração da qualidade do ar por meio de dispositivos IoT.

2.5.1 Dispositivo GreenBee

O GreenBee é um aparato IoT estático para medir, em tempo real, as alterações na qualidade do ar através de múltiplos sensores conectados a redes *wireless*, com possibilidade de serem alimentados exclusivamente por energia solar [3]. A independência de localização possibilitada pela utilização de fontes alternativas de energia permite a comparação entre ambientes rurais e urbanos. O GreenBee possui uma interface de administrador que permite ao usuário acessar individualmente o dispositivo. A Figura 1 apresenta a interface gráfica e o modelo do dispositivo GreenBee.



Figura 1. Dispositivo GreenBee [3].

2.5.2 Dispositivo AIRWISE

Alternativa aos sensores estáticos, Evangelatos [5] apresenta o AIRWISE como uma ferramenta de monitoramento da poluição atmosférica, que utiliza sensores conectados a um drone, possibilitando a captura de dados com maior abrangência geográfica. A interface do AIRWISE tem como objetivo verificar se o dispositivo está capturando os dados. Embora tenha um caráter eficiente, fica restrita a pessoas que tem entendimentos técnicos dos dados e interação por linha de comando. A Figura 2 demonstra o dispositivo e a interface dos dados.

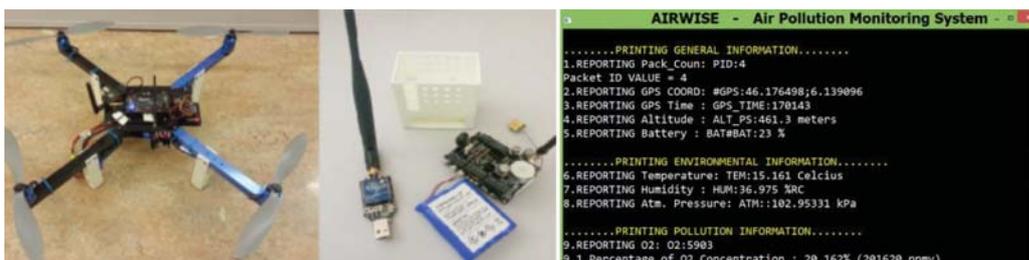


Figura 2. Dispositivo AIRWISE [5].

2.5.3 Metáforas para o Controle de Acesso Simplificado

Visando a simplificação do controle de acesso, assim como a utilização de recursos visuais para representação desse controle na interface gráfica, dois estudos fundamentaram este trabalho. Os métodos de sustentação de princípios de segurança de usabilidade dos estudos de Fléchais [41] e Whitten [42] foram transpostos e adaptados para o modelo utilizado neste trabalho.

A pesquisa de Fléchais [41] teve como objetivo investigar o processo de concepção de sistemas seguros e como os desenvolvedores podem garantir que os mecanismos de segurança sejam simples, mas ao mesmo tempo úteis e eficazes na prática. O autor sugere uma sistemática de desenvolvimento com uma notação gráfica com base em UML (Unified Modeling Language) denominada AEGIS (Appropriate and Effective Guidance for Information Security - Orientações Adequadas e Eficazes para a Segurança da Informação). A notação do modelo AEGIS, exemplificada na Figura 3, permite documentar e analisar fatores no processo de desenvolvimento, como responsabilidade e motivação do usuário, visando identificar problemas no desenvolvimento de sistemas seguros com uma abordagem prática.

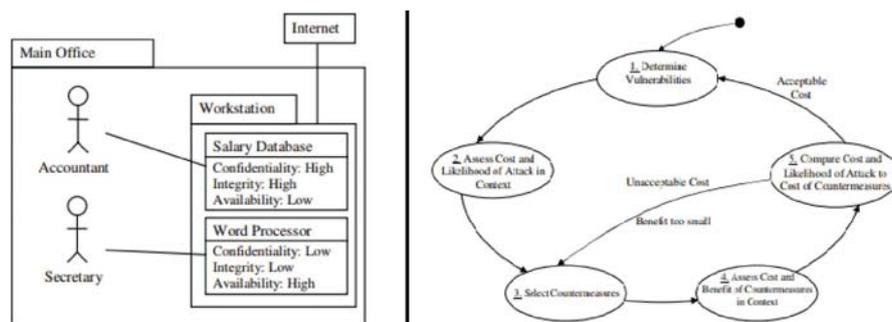


Figura 3. Modelos de notações do modelo AEGIS, por Fléchais [41].

Para Whitten [42], um grande desafio da segurança em sistemas é ser imperceptível para o usuário. Quanto a usabilidade, o sistema deve ser executado em tempo real (*just in time*), *i.e.*, as pessoas devem perceber rapidamente as funcionalidades do sistema. O desenvolvimento da segurança do sistema deve ser questionado através de dois testes: *Hard staging* e *Soft stagins* (teste leve). Entretanto, para este trabalho, tais testes não se aplicam às características do sistema interligado ao dispositivo IoT desenvolvido.

Whitten [42] utiliza uma técnica de desenvolvimento com elementos visuais, permitindo uma compreensão e comunicação rápida sobre o sistema. O autor aponta o erro de muitos desenvolvedores, que têm o pressuposto de que a segurança do sistema é complexa e rebuscada.

3. O DISPOSITIVO DESENVOLVIDO: BREZOBOMBA

Este capítulo descreve as características e tecnologias utilizadas na construção do dispositivo IoT lúdico.

Para criar um cenário de testes que possibilitaria avaliar a interação entre as pessoas e um dispositivo IoT, foi desenvolvido o dispositivo chamado de Brezobomba [7]. Sua forma intuitiva de utilização oportuniza introduzir pessoas não familiarizadas ao uso da tecnologia IoT.

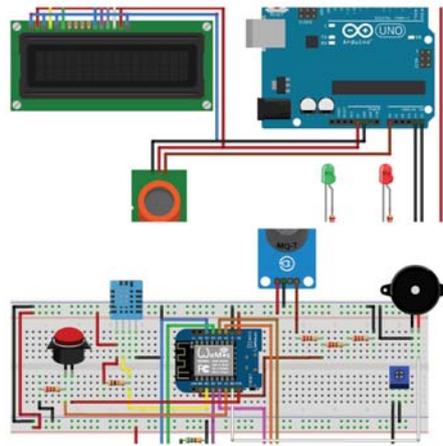


Figura 4. Esquema Eletrônico das Versões Inicial e Final da Brezobomba .

O objetivo da Brezobomba é capturar os dados do ambiente, tais como temperatura, umidade e concentração de CO_2 , através de sensores, para disponibilizar essa informação localmente e ao mesmo tempo em um banco de dados na nuvem. A informação na nuvem possibilita o acesso por meio de uma interface web para compartilhamento e uso dessas informações.



(a) Versão 1.

(b) Versão 2.

Figura 5. Brezobomba, dispositivo construído com um extintor de incêndio.

A urgência da preocupação com a qualidade do ar foi traduzida no design externo do dispositivo que remete ao aspecto de uma bomba. A Brezobomba foi construída a partir de uma estrutura em ferro de um extintor de incêndio, como reaproveitamento de materiais, com o objetivo de chamar a atenção para a questão ambiental, como pode ser visto na Figura 5.

A prototipação do dispositivo estabelecida através de um esquemático simplificado exposto possibilitou a análise da evolução do dispositivo quanto aos componentes eletrônicos. O aprofundamento da pesquisa e experiência de implementação com as arquiteturas Arduino e Raspberry Pi encaminharam para a utilização do ESP-8266 um microcontrolador com menor consumo de que desempenha as atividades do hardware com maior eficiência como pode ser visto na Figura 4. (vide apêndice C).

Uma segunda versão do dispositivo também foi construída (Figura 5(b)). Essa também foi construída com uma carcaça de extintor de incêndio. A evolução no segundo dispositivo foi a inclusão de uma tela *touchscreen*, que possibilitou o controle de acesso localmente que não havia na primeira versão, além de uma melhor visualização gráfica dos dados locais, incluindo o nível da bateria disponível.

3.1 ESTRUTURA DE HARDWARE

O conjunto de hardware que constitui o dispositivo é ilustrado na Figura 6.

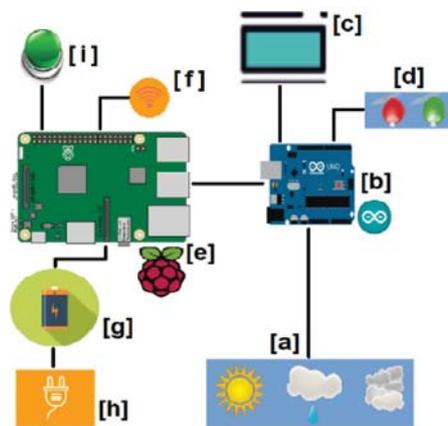


Figura 6. Conjunto de hardware do dispositivo.

Conforme a Figura 6, o dispositivo possui sensores [a] que aferem no ambiente os dados de umidade, temperatura e índice de CO₂ e transmitem os mesmos para um Arduino Uno [b]. Esse tem a função de controlar um sistema de aviso com luzes LED [d] e também de exibir os dados captados em um monitor local [c]. Nas luzes LED [d], a concentração de CO₂ é representada com a luz verde, para casos de concentração até 420 ppm, ou vermelha, para valores acima de 420 ppm. O monitor [c] também apresenta uma interface para controlar o acesso aos dados na interface web. O Arduino Uno [b] também transmite os dados para publicação através de um Raspberry Pi [e], que é responsável por receber esses dados e transmiti-los em uma conexão Wi-Fi [f] para um servidor web. O Raspberry Pi fornece energia a todo o dispositivo, suportado por uma bateria 12 v [g], que é carregada através de uma tomada externa [h]. Essa estrutura permite que a Brezobomba tenha sua aplicação por determinado

tempo em locais diversos, independentemente da existência de uma fonte de energia próxima, desde que conte com a presença de sinal Wi-Fi. Por fim, é disponibilizado o botão de interação [i] que, quando pressionado, informa em tempo real os dados coletados.



Figura 7. Captura de dados na interface do monitor *touchscreen* local.

Ao iniciar a Brezobomba, o sistema operacional Raspbian no Raspberry Pi é inicializado. Com ele, é carregado um software, desenvolvido em linguagem Python, que trabalha na aquisição de dados. As informações de umidade e temperatura chegam ao Raspberry Pi por meio de um serial conectado a um sensor de umidade e temperatura DHT22. O Arduino captura leituras analógicas de um sensor eletroquímico que identifica a concentração de CO₂ MQ-135. A comunicação entre o Arduino e o Raspberry Pi acontece por meio do barramento I2C.

3.2 PLATAFORMA PARA COMUNICAÇÃO EXTERNA

Foi desenvolvido uma plataforma que viabiliza o envio dos dados coletados pelo dispositivo IoT para a visualização na web. O dispositivo Brezobomba está conectado, por meio de conexão Wi-Fi, a uma plataforma na web, que permite essa troca de dados com serviços instalados em servidores externos. Os dados são exibidos em uma interface gráfica na web, onde o usuário público comum interage requisitando e visualizando os dados captados pelos sensores da Brezobomba, enquanto um administrador tem uma interface para controlar as solicitações de acesso (vide sessão 3.3.1). O ciclo dos dados na plataforma e organização dos componentes é ilustrado na Figura 8.

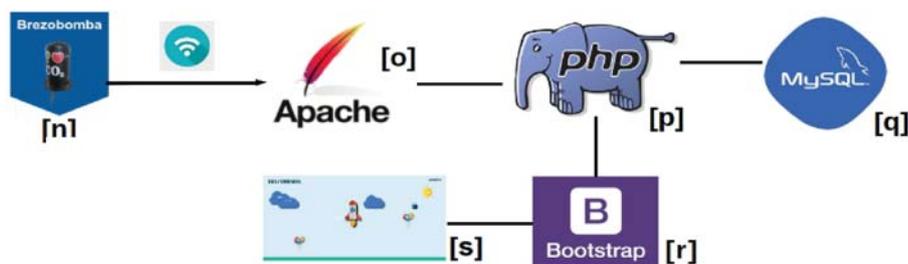


Figura 8. Arquitetura da plataforma de comunicação do dispositivo com serviços externos.

Conforme a Figura 8, a transmissão dos dados aferidos pela Brezobomba [n] para o restante da plataforma ocorre aproximadamente a cada 60 segundos, independentemente da existência de requisições de usuários. Para recepção dos dados, a plataforma conta um servidor web Apache [o]. Os dados recebidos são armazenados em um banco de dados relacional MySQL [q], que é acessado e gerenciado com *webservices* criados em linguagem PHP [p]. Além disso, acontece a comunicação entre os *webservices* e a interface gráfica, criada com o *framework* Bootstrap [r], para exibição [s] dos dados aos usuários na interface web.

3.3 MODELO DE AUTENTICAÇÃO

Roman *et al.* [24] prescrevem que, para os sistemas IoT se tornarem totalmente incorporados à realidade de utilização, a questão da segurança deve ser levada em consideração. Os autores apontam que as tradicionais técnicas de segurança não são suficientes para garantir todas as necessidades desses novos ambientes, estabelecendo, dessa forma, um novo desafio para as novas pesquisas realizadas nessa área. Vermesan e Friess (2013) esclarecem que a segurança de dispositivos IoT requerem uma variedade de controles de acesso associados a papéis de usuários e esquemas de utilização. A heterogeneidade e diversidade dos dispositivos demandam o desenvolvimento de um controle de acesso leve e adaptado ao contexto de aplicação.

O modelo de autenticação tradicionalmente usado foi dimensionado para a utilização de computadores de mesa como podemos ver na Figura 9.

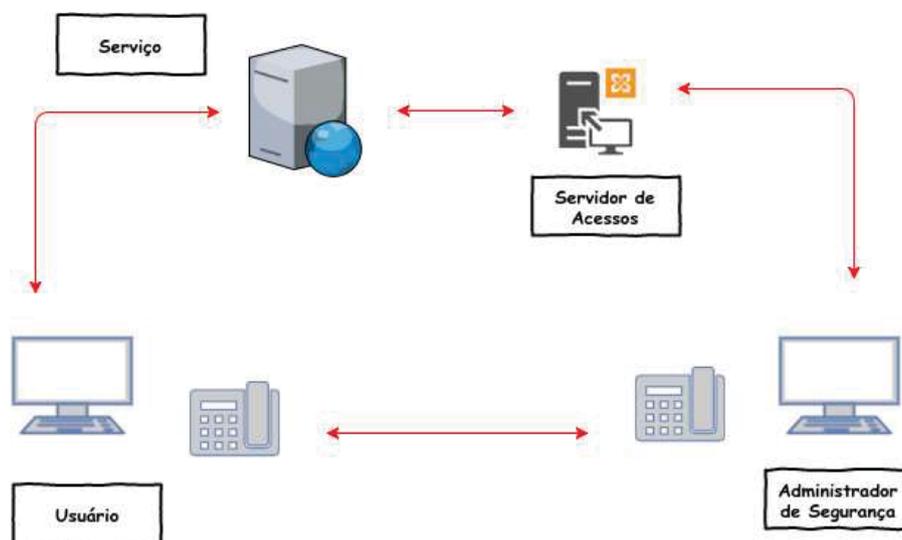


Figura 9. Modelo de autenticação tradicional.

Considera-se a hipótese de que um sistema móvel de autenticação, no qual o administrador de segurança, de posse de um *smartphone* identificado, pode decidir se autoriza ou não o acesso a um dispositivo independentemente de sua localização. Da mesma forma, a metodologia desenvolvida visa abreviar o controle de acesso para torná-lo simplificado e alinhado a casos simples, proporcionando

ao usuário uma experiência agradável de interação. Nesse sentido, para a Brezobomba, propõe-se o esquema de controle de acesso de fácil utilização aonde o usuário solicita acesso e o administrador recebe esta solicitação em um *smartphone* cadastrado como é exemplificado na Figura 10

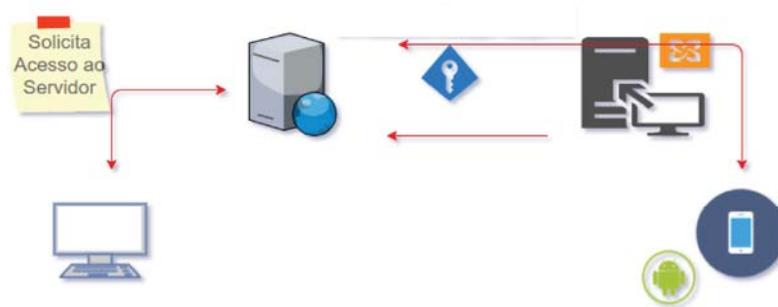


Figura 10. Proposta Modelo de Autenticação.

O sistema de autenticação é um modelo simplificado que possibilita que os seus usuários interajam com o sistema sem necessidade de treinamento. A Brezobomba foi desenvolvida para envolver diversas áreas, sendo possível realizar trabalhos interdisciplinares em espaços públicos ou educacionais em escolas. Assim, a forma de autenticação e gerência dos seus recursos foi dimensionada para ser de fácil operacionalização por parte dos usuários e administradores do sistema. A Figura 11 apresenta o funcionamento do método de autenticação que envolve usuários, administradores e a manipulação da interface web.

Conforme a Figura 11, inicialmente, o usuário faz uma requisição de acesso clicando no ícone da Brezobomba na interface gráfica da web, e se identifica informando seu nome ou vinculando sua rede social (Vide Figura 16). A plataforma envia a solicitação ao painel de controle de acesso, que notifica com uma mensagem *push* o *smartphone* de um administrador responsável pela decisão de autorizar a requisição. Se autorizado, o usuário passa a ter direito de solicitar o botão de interação do dispositivo a qualquer momento, além de poder visualizar os dados da Brezobomba em tempo real.

O modelo de acesso ao sistema Brezobomba é gerenciado em uma interface web. A interface web do administrador, apresentada na Figura 12, foi estruturada de maneira responsiva como forma para que possa ser utilizada em vários dispositivos e por pessoas leigas em tecnologia. Para ter acesso é necessário autenticar-se com nome ou a rede social. A interface do controle de acesso tem como objetivo disponibilizar o gerenciamento dos recursos do dispositivo de forma simplificada, para que o administrador não precise de treinamento para executar as decisões de acesso.

Para implementação de segurança de acesso em aparatos IoT, buscou-se estabelecer um acesso seguro a partir de uma política efetiva de controle de acesso simplificado. Aspectos de experiência de usuário em segurança de acesso são fundamentais na construção de sistemas, sendo que a verificação e validação da abordagem proposta através deste cenário possibilita a convergência de novas tecnologias como forma de evolução e adaptação do sistema as necessidades do usuário.

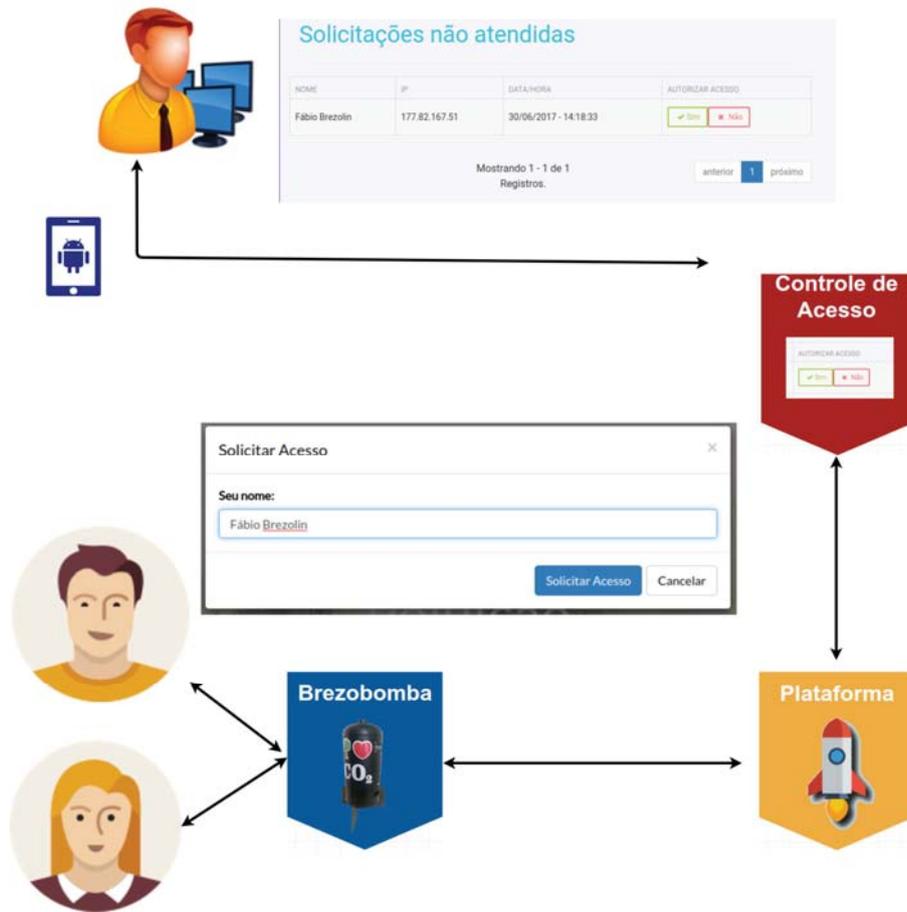


Figura 11. Método de Autenticação.



Figura 12. Interface do sistema de controle de acesso.

3.3.1 Interface do Administrador

Cada novo usuário que vier a utilizar a Brezobomba através da Plataforma Web terá de solicitar uma autorização de acesso. A interface do administrador foi o requisito que fundamentou todo o cenário do sistema, o desenvolvimento de uma interface amigável que representasse um método intuitivo de autenticação de pessoas e gerenciamento de recursos.

A necessidade de prover um sistema que permitisse sua utilização sem necessidade de treinamento iniciou-se por traduzir a política de acesso ao recurso a sua forma mais essencial como pode ser visto na Figura 13, permitindo que o administrador de acesso defina sua decisão de forma direta.



Figura 13. Decisão do Administrador de Acesso.

Quanto ao gerenciamento dos recursos, os dados de acesso e as informações climáticas são exibidas na mesma tela central como pode ser visto na Figura 14, permitindo uma visualização rápida, que permite ao administrador fazer relações rapidamente sem necessidade de acessar outros sistemas. O sistema ainda apresenta as funcionalidades de consulta aos dados capturados individualmente, possibilitando a consulta as solicitações de acesso e a habilitação de usuários administradores, assim como os dados ambientais de forma individualizada.

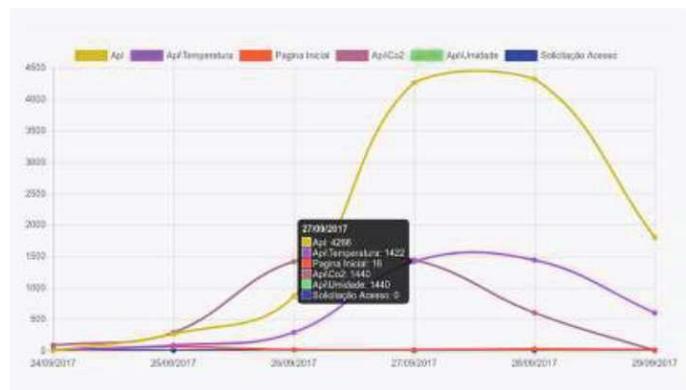


Figura 14. Estatísticas de visualização de dados.

3.4 INTERFACE WEB PARA VISUALIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados obtidos pelo dispositivo são exibidos em uma interface web para acesso ao público.²

O desenvolvimento da Interface WEB também seguiu a metodologia de prototipação com o objetivo criar metáforas que permitissem aos usuários perceberem os dados sem precisar de textos

²Disponível em <https://brezobomba.info/>

explicativos. A idealização do ícone de Concentração de CO₂ como pode ser visto na Figura 15, teve como propósito mostrar a informação em condições normais e como sinal de alerta da qualidade do ar.

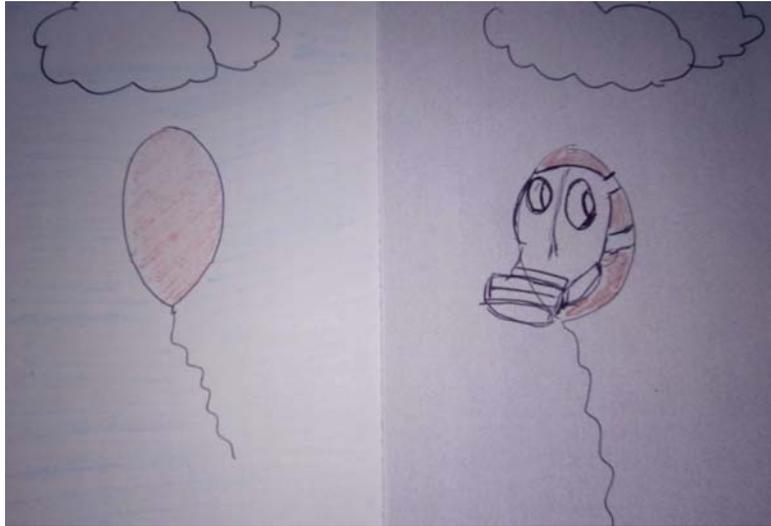


Figura 15. Protótipos dos ícones utilizados.

Com o objetivo de incorporar a mobilidade dos dispositivos IoT e o acesso através de *smartphones*, a prototipação da Interface buscou reunir os elementos em uma única tela de relacionamento com o usuário. Ao acessar a interface web pela primeira vez, o usuário precisa solicitar acesso ao sistema informando seu nome, conforme ilustra a captura de tela na Figura 16.

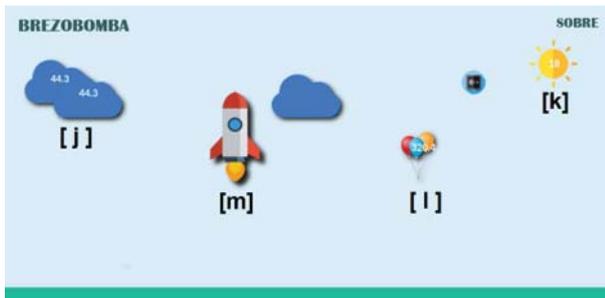
Cada solicitação é recebida pelo administrador, que pode mediá-la por uma interface web ou também localmente na tela *touchscreen* acoplada ao dispositivo.



Figura 16. Tela em que o usuário solicita acesso aos dados oriundos do dispositivo IoT.

A interface exibida após o usuário ser autenticado tem o objetivo de tornar a informação compreensível de maneira lúdica. A Figura 17 exemplifica como são apresentados na interface os dados capturados pela Brezobomba em um determinado ambiente.

Conforme a Figura 17(a), os dados de umidade e temperatura são representados pelas nuvens [j] e pelo sol [k], que no caso estão com 44.3 % e 18°C, respectivamente. No conjunto de balões [l], é apresentada a concentração de CO₂, em 320.4 ppm no caso ilustrado. O sistema verifica se a concentração de CO₂ está acima de 420 ppm e, se sim, apresenta uma tela de aviso de perigo (Figura



(a) Interface com medições de variáveis ambientais consideradas em níveis seguros.



(b) Interface com medições que representam um ambiente com altos índices de CO_2 .

Figura 17. Interface gráfica da página web para visualização dos dados.

17(b)) para aquele ambiente. Por meio do ícone da Brezobomba [m], é possível encenar um clique no botão de interação do dispositivo, simulando o aviso de perigo de níveis críticos de CO_2 (Figura 17(b)).

A interface possibilita a customização da interação incorporando a identificação visual do dispositivo como na associação da Versão 2 da Brezobomba na Figura 5(b).

4. ANÁLISES E APLICAÇÕES DO DISPOSITIVO IOT DESENVOLVIDO

Este capítulo documenta o protocolo de aplicação dos testes de usabilidade desenvolvidos para a validação do dispositivo apresentado no capítulo anterior, e para a integração das tecnologias com sua aplicação em um contexto próximo do uso real.

Na etapa de aplicação do projeto, foi desenvolvido o dispositivo e sistema conectado à Brezobomba, que permite um cenário de aplicação integrada dos experimentos nos serviços de IoT, usabilidade e controle de acesso.

O projeto Brezobomba permite um cenário experimental de fácil aplicação, disponibilizando em uma interface web informações da qualidade do ar, capturadas pelo dispositivo IoT. Como forma de aproximar as pessoas da tecnologia IoT, o projeto aborda o potencial de interação as pessoas e ambientes digitais, sobretudo no ambiente escolar.

4.1 AMBIENTE DE TESTES

Participaram dos testes 13 indivíduos, de ambos os sexos, com idade entre 10 e 11 anos, estudantes da sexta série do ensino fundamental em uma escola de Passo Fundo – RS (Figura 18). Nenhum dos participantes possuía familiaridade com dispositivos IoT e todos mostraram-se dispostos e confortáveis a utilizar os dispositivos nos testes.

Para realização de ambos os testes foi utilizada uma mesma sala de aula com boa claridade e isolamento acústico. O dispositivo foi apresentado aos estudantes, mas esses não receberam orientações sobre o acesso à página web da Brezobomba. Os participantes foram informados que a avaliação seria restrita à interface e que as tarefas podiam ser executadas com tranquilidade.

Foram aplicadas duas sessões de testes. A primeira permitiu uma avaliação sobre os aspectos da tecnologia IoT e o sistema de acesso, por meio de questões e um espaço em branco (Apêndice A) para que o aluno desenhasse livremente suas percepções de como funcionava o dispositivo (Figura 21). A segunda sessão de testes (Apêndice B) teve como objetivo avaliar aspectos de usabilidade e aceitação do dispositivo ao considerar a interação dos alunos.

Os procedimentos para coleta das medidas que foram documentadas nesta pesquisa seguem o protocolo utilizado no trabalho de Lima *et al.* [43]:

RA – Roteiro de Atividades: foi utilizado como base para que todos os testes fossem aplicados uniformemente e descreveu os procedimentos a serem seguidos pela equipe executora em cada teste;

RIE – Roteiro de Introdução ao Experimento – Participante: com o auxílio deste documento, explicou-se ao participante como o teste funcionaria, permitindo a eles sanarem suas dúvidas e conseguissem executar o experimento;

QAG – Questionário de Avaliação Geral: conjunto de 6 perguntas com respostas individuais dos participantes, teve por finalidade mapear informações sobre o conhecimento acerca das tecnologias envolvidas nos testes (Apêndice A);

QAU – Questionário de Avaliação de Usabilidade: conjunto de 5 questões, com respostas em escala Likert [44], que auxiliaram a identificar os aspectos da usabilidade e aceitação do sistema (Apêndice B).

A escolha da escala Likert como técnica de coleta de dados possibilita verificar o nível de concordância ou discordância acerca de um conteúdo. Seu uso é indicado já que sua pontuação permite uma maior precisão de informações no contexto abordado pela pesquisa.

A personalização da escala Likert dos questionários QAG e QAU para os testes com a utilização de *emoticons* teve como objetivo possibilitar aos alunos responderem de forma mais genuína possível, focando a análise da experiência.



Figura 18. Aplicações de testes e interação.

4.2 QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO GERAL

O QAG (Figura 19) busca avaliar a compreensão dos alunos frente a tecnologia IoT, verificando se reconhecem os seus dispositivos, interação com o ambiente web e o sistema de acesso. O objetivo do teste é comprovar se os recursos providos pelo dispositivo são de fácil interpretação para os estudantes.

Nesse processo, o aluno inicialmente não recebeu orientações sobre o Projeto, e foi convidado a acessar a plataforma livre e intuitivamente para apontar suas percepções sobre a interface e o funcionamento da mesma.

Após a interação com o dispositivo, foi apresentado o QAG, com respostas em escala Likert de 7 pontos, substituídos por *emoticons* proporcionais. A instrução passada foi que a escala representava um grau de concordância com a pergunta entre 1 (discordo totalmente) e 7 (concordo totalmente).

O objetivo da resposta em forma de tabela é fazer com que os alunos prestassem a atenção em cada pergunta e refletissem, evitando respostas distraídas ou desinteressadas. Orientações, com o

	O que os ícones mostram?	É o ambiente em que você está ?	É fácil de explorar ?	Usar em qualquer lugar ?	É útil ?	Pode ser usado em sala de aula?
😊		✓	✓		✓	✓
😄	✓			✓		
😊						
😊						
😐						
😞						
😡						

Figura 19. Questionário de avaliação geral.

RIE (Roteiro de Introdução ao Experimento), complementaram o questionário, ao contextualizar as perguntas para a aumentar a acuracidade das respostas para as seguintes perguntas:

Pergunta 1: O que os ícones mostram? Orientação: Os ícones da plataforma (sol, nuvens e balões) são facilmente entendíveis como representações de temperatura, umidade e concentração de CO₂?;

Pergunta 2: É o ambiente em que você está? Orientação: Os dados disponibilizados pelo dispositivo e pela plataforma mostram a situação real do ambiente em que o dispositivo está localizado?;

Pergunta 3: É fácil de explorar? Orientação: Qual o grau de facilidade percebida de interagir com o dispositivo?;

Pergunta 4: Usa em qualquer lugar? Os alunos perceberam que o dispositivo é dotado de mobilidade, fonte de energia própria e pode ser levado a outros ambientes com facilidade;

Pergunta 5: É útil? Observações sobre a relevância do dispositivo no cotidiano das pessoas;

Pergunta 6: Pode ser usado em sala de aula? Observações sobre a relevância do dispositivo em sala de aula.

Analisando as respostas ao QAG:

Pergunta 1: Média 6.3. Os alunos perceberam rapidamente que a temperatura e umidade são representadas pelo ícone do sol e das nuvens, mas tiveram dúvidas quanto ao CO₂. Posteriormente

com a explicação, verificou-se nos desenhos que os dados de CO₂ despertam interesse da maioria dos alunos pela relação com a poluição.

Pergunta 2: Média 6.7. A pergunta gerou inicialmente dúvidas nos alunos, mas eles entenderam que os dados do dispositivo se diferenciavam das informações habituais de um jogo, site ou televisão.

Pergunta 3: Média 6.1. Os alunos mostraram grande interesse quando foram desafiados a utilizarem o telefone para acessar a interface web. Os alunos que conseguiram identificar e ter acesso mais rapidamente auxiliaram os outros alunos a interagir com a plataforma.

Pergunta 4: Média 5.8. Os alunos comentaram que o dispositivo não poderia ser utilizado em aeroportos ou lugares públicos, porque as pessoas poderiam preocupar-se confundindo o dispositivo com o formato de bomba.

Pergunta 5: Média 6.8. Os alunos mostraram interesse no dispositivo e nas suas aplicações rapidamente. Questionados em outras aplicações que poderiam usar o sistema, comentaram preferirem que exemplos práticos do uso de tecnologias a simples suposições.

Pergunta 6: Média 6.8. Os alunos identificaram relação com as aulas de Física e Ciências Naturais, afirmando que os dados poderiam ser usados nas aulas de Matemática.

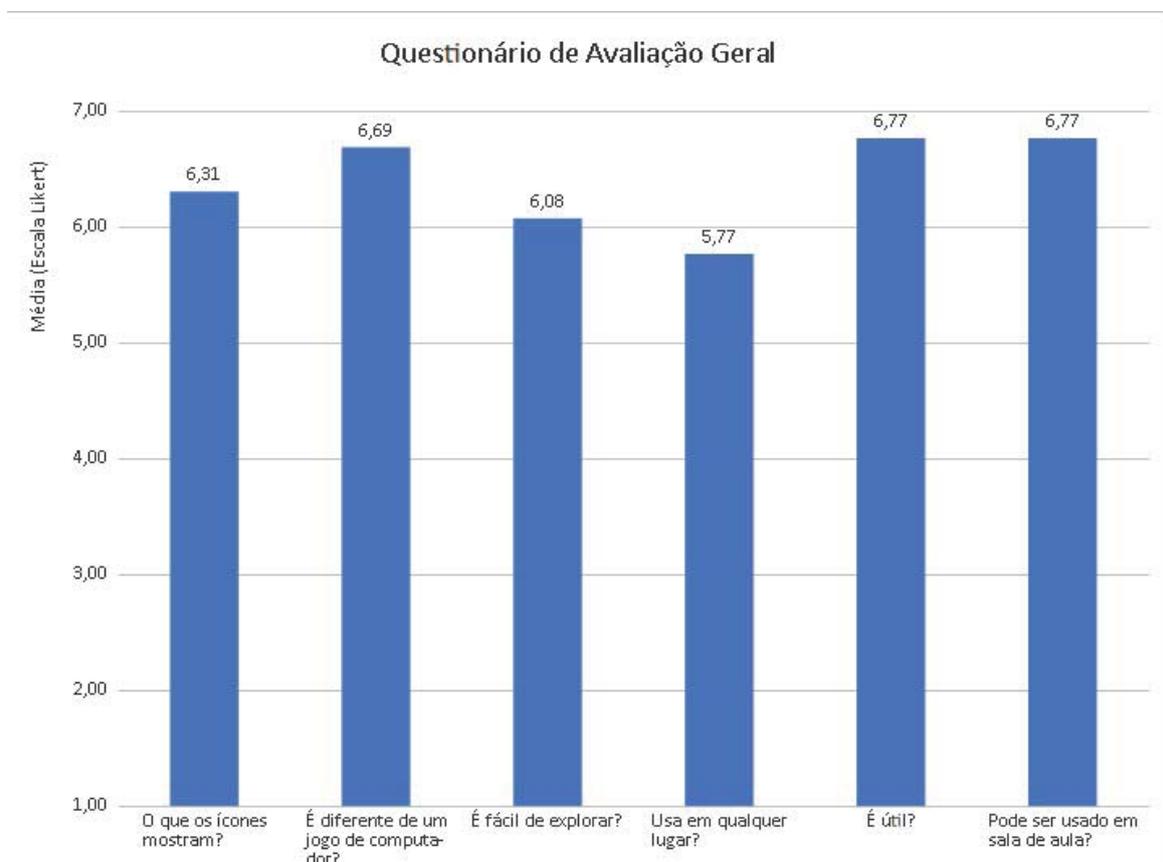


Figura 20. Resultados do QAG.

4.2.1 Desenho da Composição do Dispositivo

Como forma de avaliar as três faces do sistema e o dispositivo, que são IoT, usabilidade e controle de acesso, foi proposto aos alunos que desenhassem de forma livre o seu entendimento do sistema. O objetivo desse teste era registrar aspectos não previstos no QAG que os alunos perceberam como relevantes para o sistema e que serviriam de premissas para os testes de usabilidade. Dessa forma, no verso do QAG, foi apresentada uma questão: “Como funciona a Brezobomba?” e um quadro em que os alunos poderiam desenhar livremente, como ilustrado na Figura 21. Conforme essa figura, a identificação dos elementos foi caracterizada da seguinte forma: quanto ao dispositivo, pelo desenho de bomba [a], enquanto a plataforma pela identificação de nuvens, sol ou balões [b] e por fim o sistema de acesso pela utilização dos nomes dos estudantes [c].

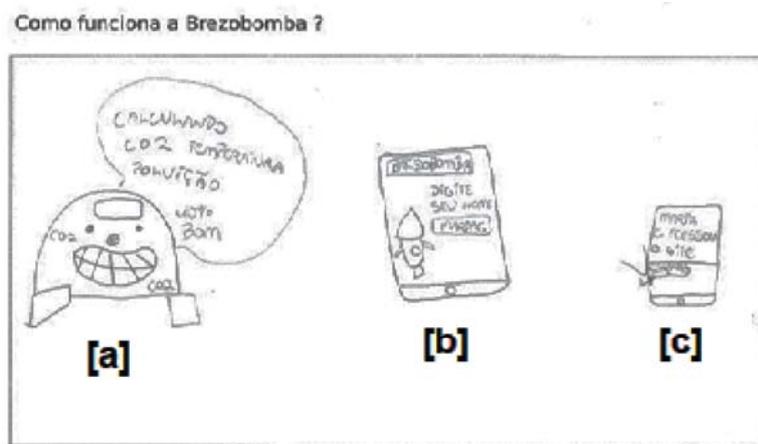


Figura 21. Verso QAG, Desenho da Composição do Dispositivo.

Visto no gráfico da Figura 22, todos os alunos desenharam o dispositivo IoT em seus desenhos. O site (interface web) foi desenhado por 53,8%, enquanto o sistema de acesso foi reconhecido 23,1% dos respondentes, indicando a importância da identidade visual do dispositivo para o usuário.



Figura 22. Resultados QAG – Desenho da Composição do Dispositivo.

Ainda sobre os desenhos sobre composição do dispositivo, 12 alunos utilizaram o formato da Brezobomba em seu desenho, e 7 deles apresentaram a relação entre o dispositivo e a interface web. Dois desenhos apresentaram todos os componentes do sistema.

Adequado às propostas teóricas, a aplicação do QAG não trata de uma avaliação estática e final do projeto, mas sim uma metodologia que permite adequar as necessidades do usuário ainda no desenvolvimento do sistema, e assim orientar a entrega de um sistema mais interativo e eficiente. A aplicação do teste QAG identificou diversas tendências de interação por meio das sugestões livres dos participantes, revelando a relevância de aprofundar os estudos de usabilidade com o dispositivo.

Na Figura 23(a), o participante mostrou a relação entre o entendimento do funcionamento com os circuitos do dispositivo, indicando a importância do funcionamento do dispositivo ser de fácil entendimento ao identificar os componentes em detalhes de tela, CPU e HDMI. Na Figura 23(b) o participante sugeriu a utilização da tecnologia de *touchscreen*. Na Figura 23(c), um participante que não desenhou bomba, mas descreveu o dispositivo internamente. Segundo o participante, ele gostaria de personalizar o aspecto externo do dispositivo.

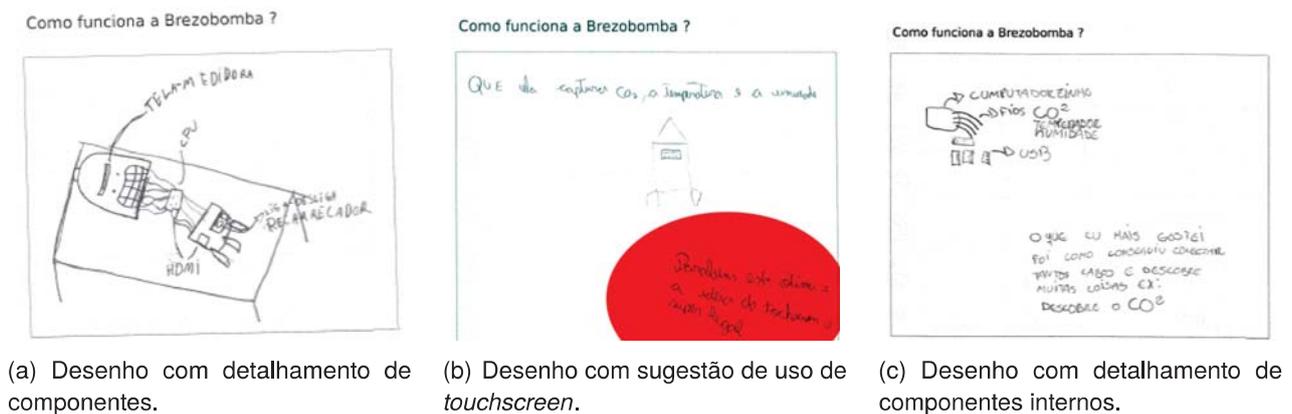


Figura 23. Desenhos resultados da pergunta sobre o funcionamento da Brezobomba.

4.3 QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE USABILIDADE

Analisadas as respostas do QAG, percebeu-se a necessidade de um aprofundamento na avaliação da usabilidade do dispositivo, já que esse é o aspecto principal analisado por esta pesquisa, compreendendo como o sistema pode ser usado com eficiência e satisfação pelo usuário.

O questionário QAU foi construído com perguntas em forma de ícones representando dispositivos para que os alunos esperassem as orientações, evitando de responder as questões sem a adequada reflexão. Anteriormente, ao receber o questionário, os alunos tendiam a responder o questionário mais rapidamente e sem receber as orientações do RIE. Com as perguntas em forma de ícones, percebe-se que os alunos esperam orientações específicas por questão, permitindo um tempo maior de análise no teste. Além de um questionário inicial (Figura 24), o QAU foi dividido em três aspectos: Aspectos da Composição, Aspectos Visuais, e Aspectos de Interação.

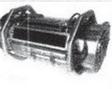
					
		X		X	
			X		X
					
	X				
					
					
					

Figura 24. QAU – Questionário de avaliação de Usabilidade

4.3.1 Aspectos da Composição do Dispositivo

Segundo Da Silva [45], a introdução de dispositivos eletrônicos na educação evoluiu rapidamente nos últimos anos. Avanços em relação ao preço, tamanho e performance resultaram em dois modelos educacionais que são mais facilmente reconhecidos como artefatos para estimular o pensamento computacional: Arduino [46] e o Lego *Mindstorms* [47]. A Figura 25 exemplifica kits de desenvolvimento para Arduino e para Lego *Mindstorms*.



(a) Arduino [46].



(b) Lego Mindstorms [47].

Figura 25. Kits de Desenvolvimento e Construção.

Para avaliação da preferência de dispositivo, a primeira pergunta foi: Quanto ao aspecto externo do dispositivo Brezobomba, você teria maior satisfação em aprender seu funcionamento utilizando peças de montar ou componentes eletrônicos?

Nas respostas (Figura 26) do questionário de preferência de montagem, a média das respostas para Lego foi de 4.73 ± 1.67 , enquanto a aceitação do modelo Arduino foi de 6.7 ± 0.62 , mostrando uma tendência a maior satisfação em interagir com um dispositivo desse modelo. Ao final do teste, um dos participantes comentou que o modelo de peças de montagem era para “criancinhas pequenas”, enquanto o modelo de circuitos era “*nível hard*” [sic].

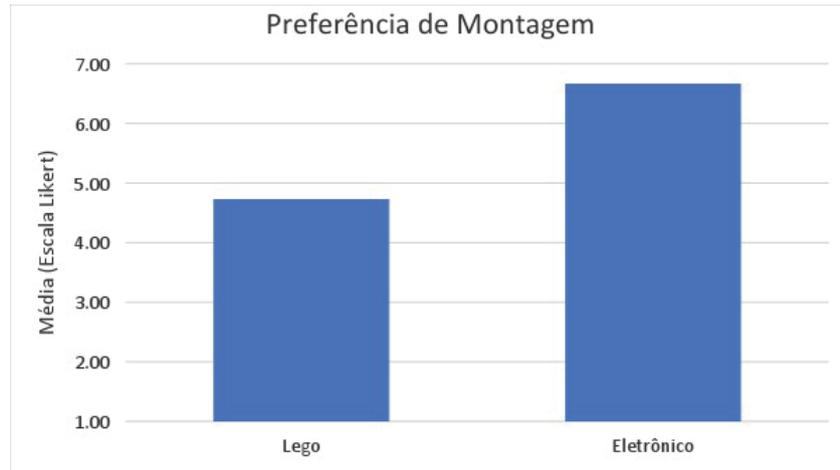


Figura 26. Resultados do QAU para preferência de montagem do dispositivo.

4.3.2 Aspectos Visuais do Dispositivo

O propósito desse teste foi identificar a relevância da elaboração da identidade visual do dispositivo. A pergunta inicial era "Como você avalia o formato e a construção da Brezobomba", com respostas em escala Likert de 7 pontos. A resposta médio foi de 6.5, indicando que os respondentes gostaram do dispositivo.

Outra pergunta sobre o aspecto visual é se os entrevistados preferem desenvolver o próprio case, evidenciando aspectos da cultura *Maker*. A cultura *Maker*, além de estimular o aprendizado e o fazer com as próprias mãos, pode formar usuários com um pensamento mais inovador. Segundo Hatch [48], os *Makers* com desempenho mais satisfatório são os que utilizam materiais e maquinários de forma inusitada. A aceitação da pergunta pelos entrevistados indica que ao elaborar uma identidade visual personalizada, o dispositivo tende a se adequar mais ao contexto que está inserido. A Figura 27 exemplifica ideias apresentadas pelos participantes para a identidade visual do dispositivo.



Figura 27. Ideias dos participantes para a identidade visual do dispositivo.

4.3.3 Aspectos de Interação com o Dispositivo

A tecnologia *touchscreen* trata-se de uma tela sensível ao toque, composta por um *display* eletrônico visual que detecta a presença e localização de um toque dentro da área de exibição. As telas sensíveis ao toque se tornaram muito populares com a disseminação do uso dos *smartphones*.

O uso de interfaces em telas *touchscreen* traz benefícios de conectividade e usabilidade para seus usuários, por interagir diretamente com o sistema que está sendo exibido e dispensar o uso de dispositivos auxiliares como mouse e teclado. No dispositivo Brezobomba, essa tecnologia é utilizada em uma tela para controle de acesso e exibição de dados localmente (Figura 7). Sua utilização mesmo que não seja essencial para seu funcionamento, trata-se de um recurso cognitivo que influencia a forma do usuário se relacionar com o dispositivo.

A pergunta de avaliação da tecnologia *touchscreen* questionava como o respondente avaliava a utilização (ou não utilização) da mesma na Brezobomba, em uma escala Likert de 7 pontos. O objetivo desse teste foi comparar os dois modelos com e sem *touchscreen* e verificar que, mesmo sem ser um aspecto essencial do sistema, o quanto os alunos se importam com isso.

Verificou-se (Vide Figura 28) que os alunos tendem a ter maior aceitação ao dispositivo com *touchscreen* de (6.4 ± 1.4) pontos. Por outro lado, não há uma rejeição pelo dispositivo sem *touchscreen* (6 ± 1.96) pontos).

O uso da tecnologia *touchscreen* em um dispositivo IoT foi percebida como uma forma de simplificar seu acesso e fornecer respostas rápidas ao participante, sendo um importante fator de interatividade.

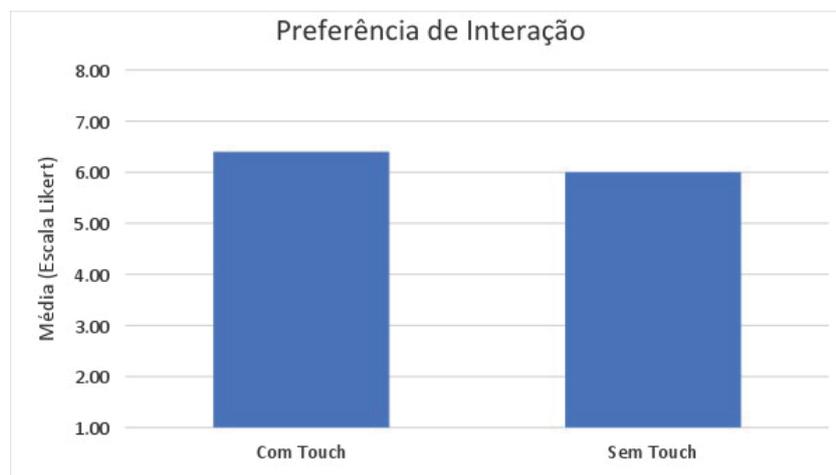


Figura 28. Aceitação do uso de *touchscreen*.

4.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AS APLICAÇÕES DO DISPOSITIVO

Observa-se, por meio da análise do resultado dos testes aplicados, que os alunos aceitam a tecnologia sem ter a necessidade de entender profundamente seu funcionamento técnico. Ao mesmo

tempo, percebe-se que a curiosidade de dominar a tecnologia tem papel relevante na aceitação do dispositivo.

A solução proposta com a utilização de técnicas de prototipação e testes com usuários nas primeiras fases de desenvolvimento permitiram obter resultados mais adequados as necessidades dos usuários.

A aplicação dos testes no ambiente escolar permitiu uma avaliação mais detalhada dos requisitos do sistema, ao colocar-se no lugar de usuários reais é possível organizar os dados e informações para perceber novas oportunidades de interação, valorizando a comunicação ente o sistema e o usuário.

Na escola percebeu-se que a flexibilidade de respostas dos testes proposta por Creswell [27] quanto a utilização de dados qualitativos e executada pelo QAG, apresentou relevantes melhoras no sistema, tanto por possibilitar a discussão de aspectos não previstos nas perguntas objetivas, quanto por esclarecerem ao participante sobre os objetivos do questionário.

A escolha de metáforas para identificar funcionalidades do sistema, sugeridos por Fléchais [34] e Whitten [37], permitiu que a interação do usuário aconteça de forma mais natural e intuitiva. A relação feita entre o formato do dispositivo, os ícones da interface gráfica e os dados capturados pelos sensores apresentou resultados de que, mesmo sem conhecer a tecnologia, as crianças rapidamente a relacionaram com experiências do seu cotidiano.

A aproximação da tecnologia de forma lúdica tem papel relevante na pesquisa. experiências teóricas como Evangelatos [36] e o GreenBee [35] apresentam aplicação prática da IoT, entretanto, distantes da compreensão do usuário comum.

Um questionamento presente na aplicação dos testes acerca dos dados escolhidos para avaliar a qualidade do ar, foi que nos *smartphones* a informação de temperatura e umidade já era prevista, porém, as crianças mostraram surpresa ao ver dados de concentração de CO₂, relacionando rapidamente com ambientes mais poluídos, como ruas movimentadas e trânsito pesado.

É importante pensar que essa reflexão proporcionada pelo dispositivo, e rapidamente assimilada pelos alunos, permite uma discussão mais aprofundada do ambiente em que as crianças vivem, possibilitando novas soluções para problemas reais.

Os alunos também identificaram o sistema como uma ferramenta útil para verificar a qualidade do ar e viram diversas formas de aproveitar essas informações em sala de aula, mostrando interesse em conhecer outros dispositivos e tecnologias.

5. CONCLUSÃO

A revolução digital que passamos nas últimas duas décadas não amenizou os grandes problemas de desigualdade que enfrentamos no cotidiano. Algumas tecnologias atuais, como a IoT são de baixo custo e simples implementação, porém uma grande parte da população não tem acesso ou conhecimento que permita sua aplicação na solução de problemas reais.

Convergir aspectos técnicos da tecnologia com a resposta à desafios reais é uma forma de democratizar o conhecimento como ferramenta de mudança social.

A IoT permite o relacionamento das pessoas com o ambiente de uma forma pouco imaginada antes. Entretanto, o desenvolvimento desses sistemas precisa ter como objetivo a relevância para o usuário, fundamental para que os sistemas e tecnologias sejam adequados a capacidade de entendimento de quem os utiliza, arriscando-se a ausência de utilidade.

Este trabalho buscou apresentar a organização do desenvolvimento de um dispositivo IOT para monitorização e avaliação de variáveis ambientais acerca da qualidade do ar. A diminuição da qualidade do ar é um problema cada vez mais recorrente, e a Brezobomba foi construída com o propósito de chamar atenção sobre esse problema.

Desenvolvido com um conjunto de tecnologias livres, o dispositivo teve o ideal de viabilizar uma interface intuitiva e ao mesmo tempo lúdica, onde a informação está acessível e facilmente interpretável pelos usuários. Além disso, buscou-se estabelecer um acesso seguro a partir de uma política simplificada de controle de acesso aos dados capturados pelo dispositivo e disponibilizados na interface web.

O dispositivo também permitiu um cenário de testes legítimo quanto a sua aplicação prática, ao integrar hardware e software em um sistema intuitivo, possibilitando um aprofundamento na pesquisa e na busca de novas soluções. O dispositivo evoluiu desde suas primeiras versões, ao incorporar novas tecnologias como *touchscreen*, e o aspecto didático dos componentes se mostrou mais adequado à utilização pelos usuários.

A interface web, inicialmente estática, progrediu para um modelo de interação visual buscando simplificar o entendimento dos dados. O controle de acesso mostrou-se adequado a ambientes com IoT, e foi possível manter as decisões de acesso e a segurança do sistema em um processo de autenticação sem a necessidade de login e senha. A proposta deste sistema de acesso simplificado permitiu a adoção de novas tecnologias, como as pesquisas apresentadas nos trabalhos relacionados de Shi *et al.* [49] e Wang [50], que podem ser incorporados a trabalhos futuros.

O alcance do objetivo geral proporcionou exemplificar o dispositivo IoT e princípios de usabilidade vinculados. As avaliações permitiram compreender a aceitação do dispositivo, vislumbrando sua utilização no cotidiano das pessoas. Concluiu-se que os aspectos técnicos devem ser tratados para direcionar o usuário a ter uma experiência agradável através de uma interface intuitivamente.

Considera-se que as tecnologias evoluem e tornam os processos de desenvolvimento insuficientes ao longo do tempo. Da mesma forma, as necessidades dos usuários também transformam-se, o que torna necessário repensar a maneira e as técnicas de desenvolver sistemas mais viáveis e adequados às particularidades dos usuários.

Como trabalhos futuros, pretende-se o aperfeiçoamento do hardware e dos componentes de software da arquitetura do sistema, para melhorar seu desempenho, vislumbrando uma diminuição do seu custo de produção.

A funcionalidade de incorporar novos sensores, permite a convergência da tecnologia de IoT para diferentes disciplinas escolares, como química e física, que podem ter elementos lúdicos utilizados como ferramenta auxiliar de ensino.

O desafio da qualidade do ar é um problema global, a plataforma WEB permite que estudantes de diferentes países discutam entre si soluções em conjunto para o desafio ambiental, para isso pretende-se a aplicação dos testes QAG e QAU com crianças da mesma idade em um país da América Latina, como forma de analisar ao entendimento do dispositivos independentemente do idioma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] VERMESAN, O.; FRIESS, P. *Internet of things: converging technologies for smart environments and integrated ecosystems*. [S.l.]: River Publishers, 2013.
- [2] HADFIELD, L.; SEATON, R. A co-evolutionary model of change in environmental management. *Futures*, Elsevier, v. 31, n. 6, p. 577–592, 1999.
- [3] BARAKEH, Z. A.; DELBART, V.; BONNET, F. Multiple gas sensors system for environmental and air quality assessments - a way to perform environmental monitoring in smart cities. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Sensor Networks*. [S.l.]: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2014.
- [4] BARNAGHI, P. et al. Semantics for the internet of things: early progress and back to the future. *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)*, IGI Global, v. 8, n. 1, p. 1–21, 2012.
- [5] EVANGELATOS, O.; ROLIM, J. An airborne wireless sensor network for ambient air pollution monitoring. *SENSORNETS*, p. 231–239, 2015.
- [6] WHITMORE, A.; AGARWAL, A.; XU, L. D. The internet of things—a survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, Springer, v. 17, n. 2, p. 261–274, 2015.
- [7] BREZOLIN, F. L. et al. Proposição de um sistema de autenticação simplificado e interativo com dispositivo iot. In: *II Workshop Regional de Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais. In Anais da 15ª Escola Regional de Redes de Computadores*. [S.l.: s.n.], 2017.
- [8] ASHTON, K. et al. That ‘internet of things’ thing. *RFID journal*, v. 22, n. 7, p. 97–114, 2009.
- [9] SATYANARAYANAN, M. Pervasive computing: Vision and challenges. *IEEE Personal communications*, IEEE, v. 8, n. 4, p. 10–17, 2001.
- [10] LANDAY, J. A.; DAVIS, R. C. Making sharing pervasive: Ubiquitous computing for shared note taking. *IBM Systems Journal*, v. 38, n. 4, p. 531–550, 1999. ISSN 0018-8670.
- [11] CHEBUDIE, A. B.; MINERVA, R.; ROTONDI, D. *Towards a definition of the Internet of Things (IoT)*. [S.l.], 2014.
- [12] KJÆR, K. E. A survey of context-aware middleware. In: . [S.l.: s.n.], 2007.
- [13] BARBOSA, S.; SILVA, B. *Interação humano-computador*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2010.
- [14] MORAN, T. P. The command language grammar: A representation for the user interface of interactive computer systems. *International journal of man-machine studies*, Elsevier, v. 15, n. 1, p. 3–50, 1981.

- [15] SIEWERDT, F. L.; CARVALHO, R. M.; ANDRADE, R. Recommendations for usability testing in ubiquitous applications. In: ACM. *Proceedings of the 15th Brazilian Symposium on Human Factors in Computer Systems*. [S.l.], 2016. p. 47.
- [16] GUBBI, J. et al. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, Elsevier, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013.
- [17] ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer networks*, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- [18] YUAN, E.; TONG, J. Attributed based access control (abac) for web services. In: IEEE. *Web Services, 2005. ICWS 2005. Proceedings. 2005 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2005.
- [19] SCHELL, R. R. Computer security: the achilles' heel of the electronic air force? *Air & Space Power Journal*, Air Force Research Institute, v. 27, n. 1, p. 158, 2013.
- [20] FERRAIOLO, D.; KUHN, R. Role-based access controls. In: BALTIMORE, MARYLAND: NIST-NCSC. *Proceedings of 15th NIST-NCSC National Computer Security Conference*. [S.l.], 1992. v. 563.
- [21] LAVI, T.; GODES, E. Trust-based dynamic rbac. In: INSTICC. *Proceedings of the 2nd International Conference on Information Systems Security and Privacy - Volume 1: ICISSP*. [S.l.]: SciTePress, 2016. p. 317–324.
- [22] FERRAIOLO, D. F. et al. Proposed nist standard for role-based access control. *ACM Trans. Inf. Syst. Secur.*, ACM, New York, NY, USA, v. 4, n. 3, p. 224–274, ago. 2001. ISSN 1094-9224.
- [23] SINGH, J. et al. Twenty security considerations for cloud-supported internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, IEEE, v. 3, n. 3, p. 269–284, 2016.
- [24] ROMAN, R.; NAJERA, P.; LOPEZ, J. Securing the internet of things. *Computer*, IEEE, v. 44, n. 9, p. 51–58, 2011.
- [25] CHRYSOVERGIS, M. D. *Uma interface para refinamento de pesquisas de políticas de segurança em ambientes de grid services*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- [26] SANDHU, R. S.; SAMARATI, P. Access control: principle and practice. *IEEE communications magazine*, IEEE, v. 32, n. 9, p. 40–48, 1994.
- [27] POWER, R.; BY-FARROW, R. F. *Tangled Web: Tales of digital crime from the shadows of cyberspace*. [S.l.]: Macmillan Press Ltd., 2000.
- [28] GERACI, A. et al. *IEEE standard computer dictionary: Compilation of IEEE standard computer glossaries*. [S.l.]: IEEE Press, 1991.
- [29] LOWDERMILK, T. *User-centered design: a developer's guide to building user-friendly applications*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2013.

- [30] JOLY, M. *Introdução à análise da imagem*. [S.l.]: Papyrus Editora, 2007.
- [31] ROGERS, Y.; SHARP, H.; PREECE, J. *Interaction design: beyond human-computer interaction*. 3rd. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015.
- [32] CUELLO, J.; VITTONI, J. *Diseñando apps para móviles*. [S.l.]: José Vittone—Javier Cuello, 2013.
- [33] DUMAS, J. S.; REDISH, J. *A practical guide to usability testing*. [S.l.]: Intellect books, 1999.
- [34] CRESWELL, J. W.; CRESWELL, J. D. *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. [S.l.]: Sage publications, 2017.
- [35] NORMAN, D. *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. [S.l.]: Basic Books (AZ), 2013.
- [36] GAIVÉO, J. M. *As pessoas nos sistemas de gestão da segurança da informação*. Tese (Doutorado) — Universidade Aberta, 2008.
- [37] SEQUESSEQUE, M. T. M. *O impacto da implementação de segurança da informação na usabilidade dos sistemas de informação: caso de estudo*. Tese (Doutorado) — Instituto Politécnico de Setúbal. Escola Superior de Ciências Empresariais, 2017.
- [38] PEREIRA, S. R.; PAIVA, P. B. A importância da engenharia da usabilidade para a segurança de sistemas informatizados em saúde. *Journal of Health Informatics*, v. 3, n. 3, 2011.
- [39] RAMOS, I. *Aplicações das tecnologias de informação que suportam as dimensões estrutural, social, política, simbólica do trabalho*. Tese (Doutorado) — Universidade do Minho, 2000.
- [40] YEE, K.-P. Aligning security and usability. *IEEE Security & Privacy*, IEEE, v. 2, n. 5, p. 48–55, 2004.
- [41] FLÉCHAIS, I. *Designing secure and usable systems*. Tese (Doutorado) — University College London, 2005.
- [42] WHITTEN, A. Making security usable. *Unpublished Ph. D. thesis, CS, CMU*, 2004.
- [43] LIMA, J. et al. Avaliação da eficiência do dispositivo wearable tecassist com retornos aural e tátil. In: *Proceedings of the 16th Brazilian Symposium on Human Factors in Computer Systems*. [S.l.]: ACM, 2017. (IHC '17).
- [44] LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, v. 22, p. 1–55, 1932.
- [45] SILVA, D. P. da et al. Aplicação de robótica na educação de forma gradual para o estímulo do pensamento computacional. In: *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2016. v. 5, n. 1, p. 1188.
- [46] Arduino, Inc. *About Arduino*. 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: Jan. 2018.

- [47] LEGO, Inc. *LEGO Education*. 2018. Disponível em: <<https://education.lego.com/en-us>>. Acesso em: Jan. 2018.
- [48] HATCH, M. *The maker movement manifesto: rules for innovation in the new world of crafters, hackers, and tinkerers*. [S.l.]: McGraw Hill Professional, 2013.
- [49] SHI, C. et al. Smart user authentication through actuation of daily activities leveraging wifi-enabled iot. In: ACM. *Proceedings of the 18th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*. [S.l.], 2017. p. 5.
- [50] WANG, H. et al. Understanding the purpose of permission use in mobile apps. *ACM Trans. Inf. Syst.*, ACM, New York, NY, USA, v. 35, n. 4, p. 43:1–43:40, jul. 2017. ISSN 1046-8188.

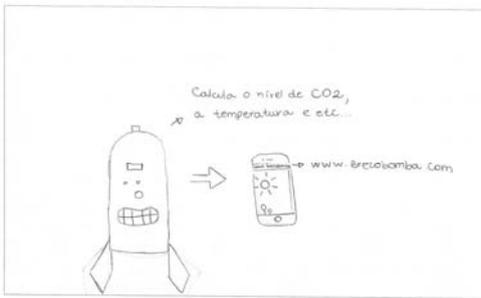
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO GERAL - QAG

Formulário de Testes: Questionário de Avaliação Geral.

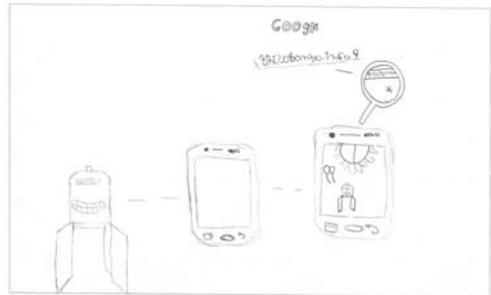
Respostas Aplicação Teste – QAG

	O que os ícones mostram?	É o ambiente em que você está ?	É fácil de explorar ?	Usar em qualquer lugar ?	É útil ?	Pode ser usado em sala de aula?
						
						
						
						
						
						
						

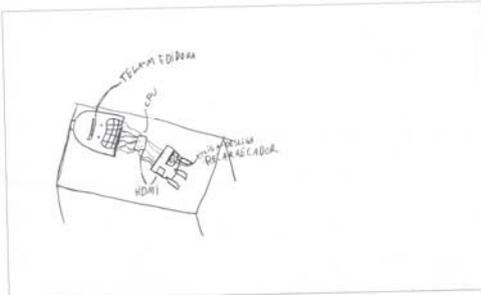
Como funciona a Brezobomba ?



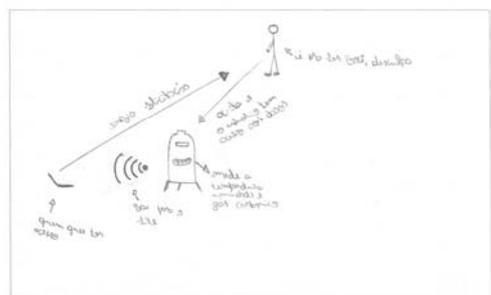
Como funciona a Brezobomba ?



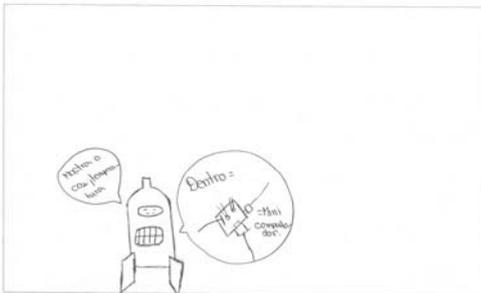
Como funciona a Brezobomba ?



Como funciona a Brezobomba ?



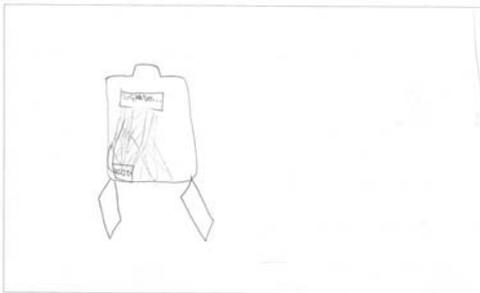
Como funciona a Brezobomba ?



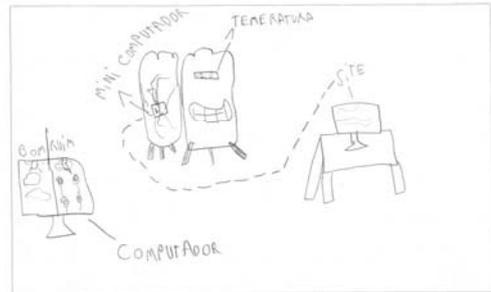
Como funciona a Brezobomba ?



Como funciona a Brezobomba ?



Como funciona a Brezobomba ?



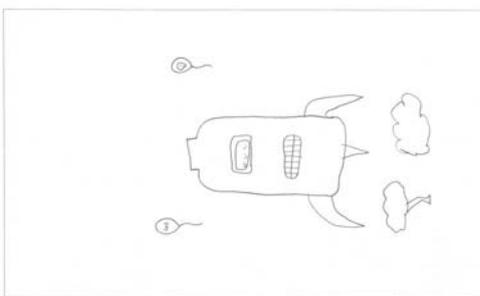
Como funciona a Brezobomba ?



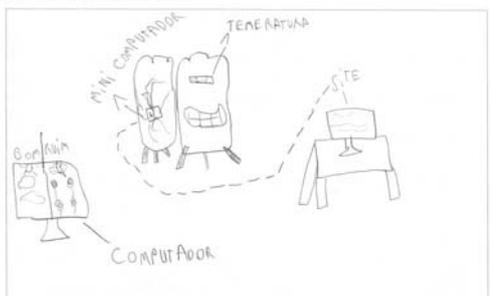
Como funciona a Brezobomba ?



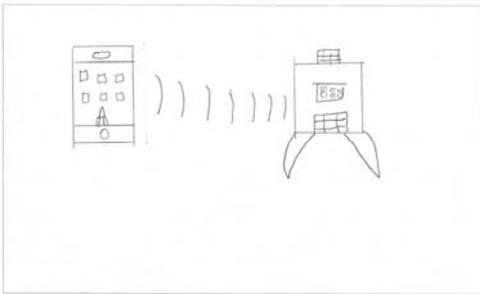
Como funciona a Brezobomba ?



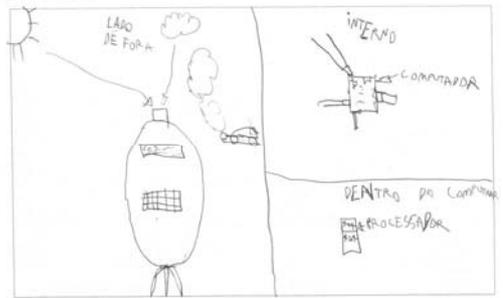
Como funciona a Brezobomba ?



Como funciona a Brezobomba ?



Como funciona a Brezobomba ?

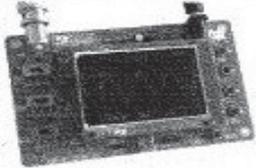
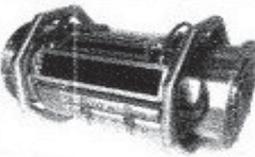


APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE USABILIDADE - QAU

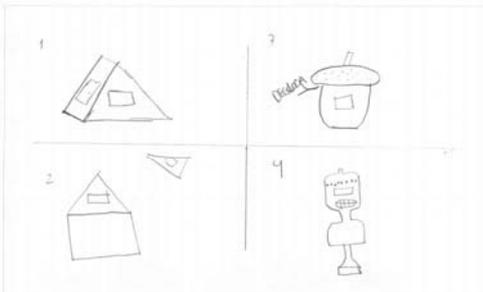
Questionário de Avaliação de Usabilidade - QAU

Formulário de Testes: Questionário de Avaliação de Usabilidade.

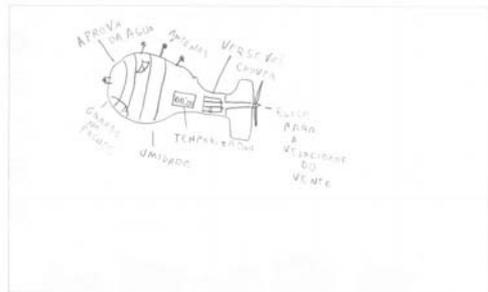
Respostas Aplicação Teste – QAU

					
		X		X	
			X		X
					
	X				
					
					
					

Qual sua melhor ideia para montar a Brezobomba ?



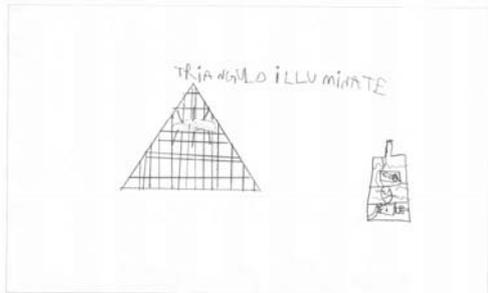
Qual sua melhor ideia para montar a Brezobomba ?



Qual sua melhor ideia para montar a Brezobomba ?



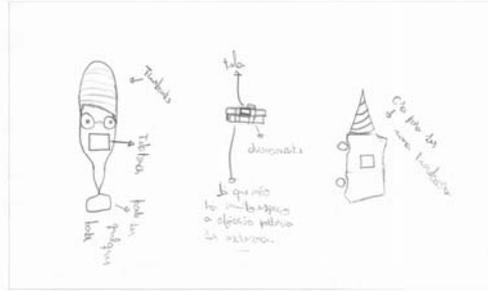
Qual sua melhor ideia para montar a Brezobomba ?



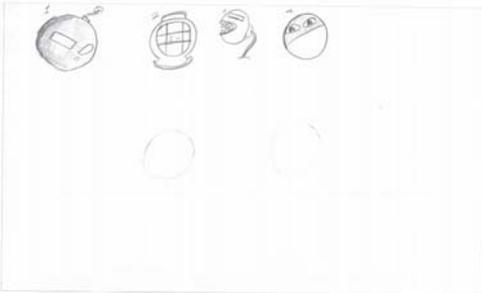
Qual sua melhor ideia para montar a Brezobomba ?



Qual sua melhor ideia para montar a Brezobomba ?



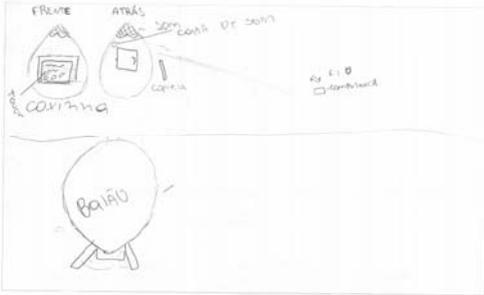
Qual sua melhor ideia para montar a Brezobomba ?



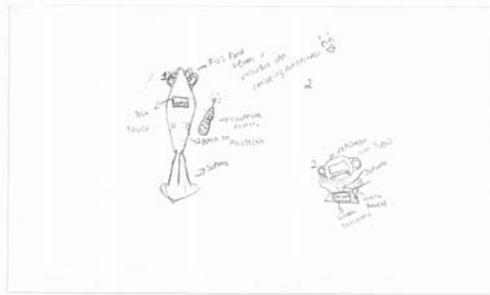
Qual sua melhor ideia para montar a Brezobomba ?



Qual sua melhor ideia para montar a Brezobomba ?



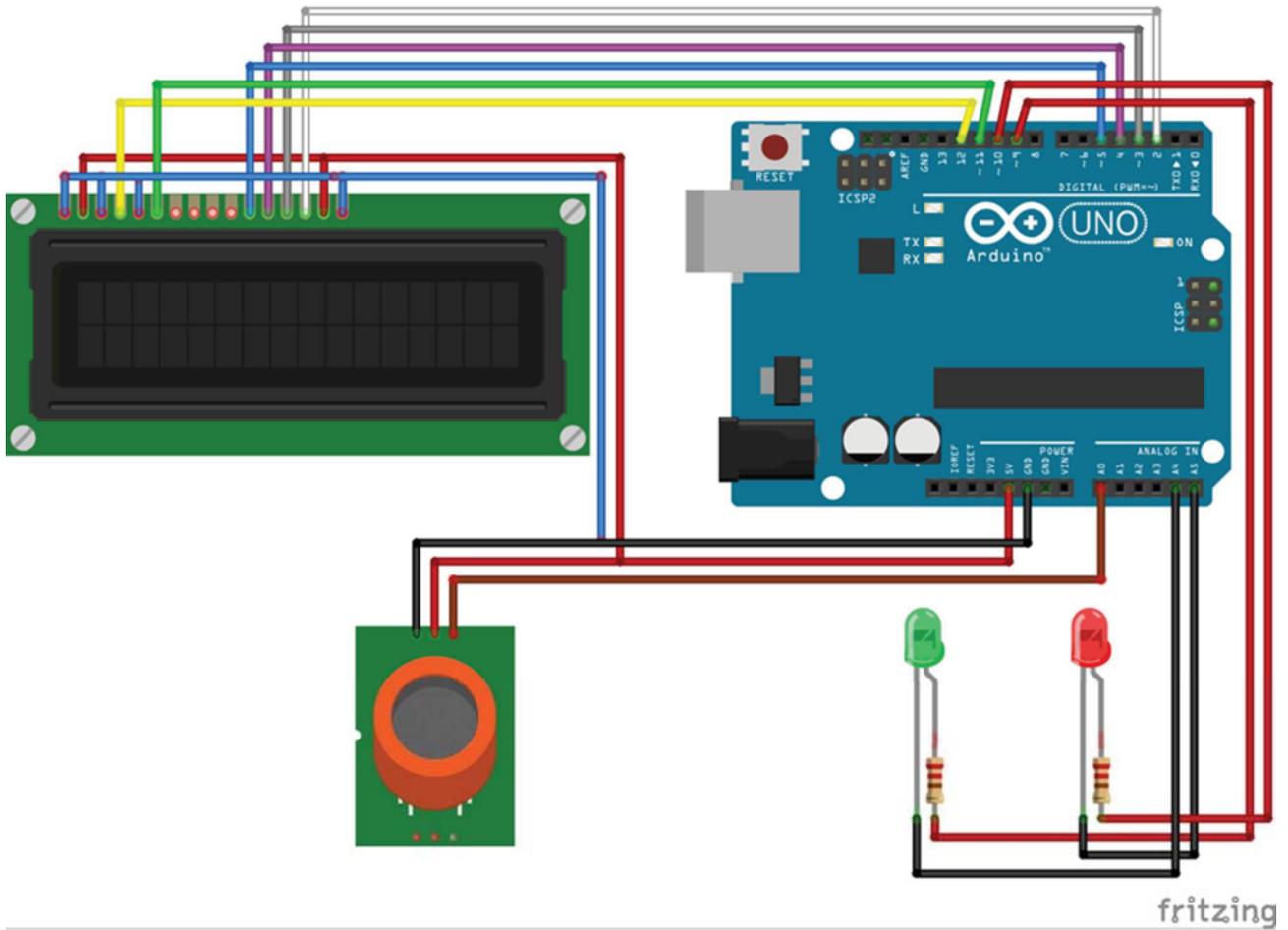
Qual sua melhor ideia para montar a Brezobomba ?



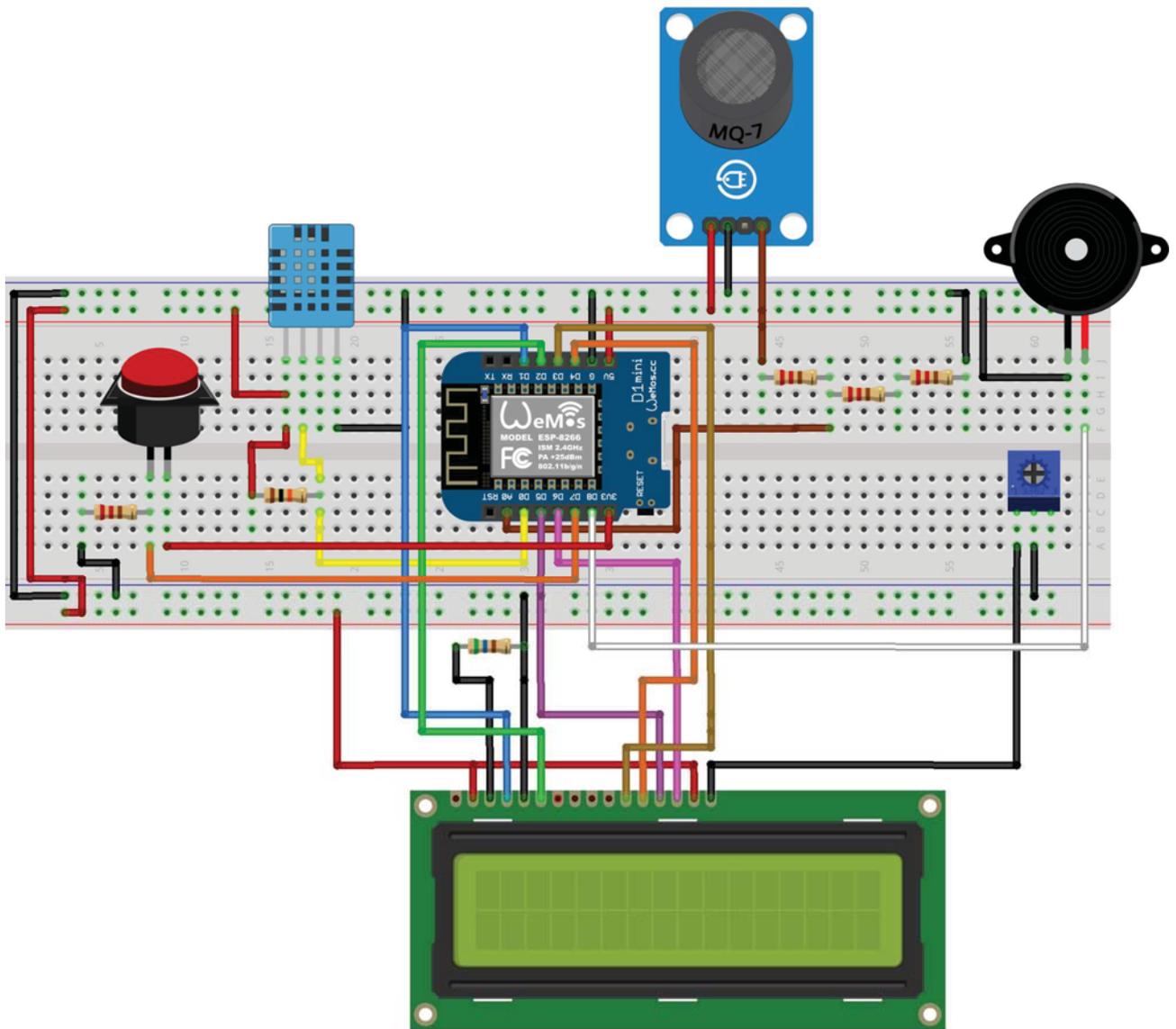
APÊNDICE C – DESENHO ESQUEMÁTICO DISPOSITIVO BREZOBOMBA

Versão Inicial e Final do Esquemático

Desenho Esquemático Primeira Versão



Desenho Esquemático Versão Final



fritzing