

# Desenvolvimento de uma Arquitetura Baseada na Internet das Coisas para uma Bengala Eletrônica Baseada no Contexto das Cidades Inteligentes

Michael Douglas Cabral Alves  
Universidade do Vale do Itajaí  
Itajaí, Santa Catarina, Brasil  
michaeld@edu.univali.br

Alejandro Rafael Garcia Ramirez  
Universidade do Vale do Itajaí  
Itajaí, Santa Catarina, Brasil  
ramirez@univali.br

Anita Maria da Rocha Fernandes  
Universidade do Vale do Itajaí  
Itajaí, Santa Catarina, Brasil  
anita.fernandes@univali.br

## ABSTRACT

This paper describes an architecture based on the Internet of Things (IoT) for the electronic cane project. It was designed to assist the locomotion process of visually impaired individuals in the context of smart cities. The architecture allows, through a microcontroller and a GPS module embedded in the cane, to register and subsequently identify obstacles according the geographic coordinates. A smartphone was used to transmit and store this information in the cloud for further processing. The interaction of the cane with the smartphone will open a future range of applications, such as the identification of points of interest, detecting the proximity of other users of the electronic cane, among other uses. The functionality tests were satisfactory, with an accuracy of 80% identifying the recorded obstacles.

## KEY WORDS

Coordenadas de Geolocalização; Deficiência Visual; Serviço em Nuvem; Sensores inteligentes.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com [1], desde o surgimento do termo IoT, em 1999, uma gama de soluções é aplicada com sucesso em diversas áreas de lazer e cultura. No entanto, a oferta é baseada principalmente em aplicações móveis desenvolvidas especificamente para cenários concretos homogêneos, sem integrar a sua funcionalidade no ambiente em que o usuário se move, o qual não favoreceria uma melhor interação do usuário com o ambiente que o rodeia.

A mobilidade urbana em cidades inteligentes é uma área em crescimento que lida com tecnologias sendo concebidas no paradigma da IoT e o campo da Tecnologia Assistiva (TA) poderia se beneficiar nesse cenário. Cabe salientar que a Tecnologia Assistiva é um termo usado para definir a gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas projetadas e aplicadas para minimizar os problemas encontrados por indivíduos com deficiência [2].

Este trabalho visou aprimorar o desenvolvimento do projeto Bengala Eletrônica, provendo uma arquitetura de comunicação, integrada ao ambiente, com base nos princípios da Internet das Coisas. Nesta proposta, as posições geográficas dos obstáculos de interesse são registradas e identificadas, também armazenando

estas informações na nuvem, de modo a complementar a funcionalidade atual do dispositivo. Almeja-se que esta abordagem contribua à mobilidade do deficiente visual em espaços urbanos no contexto das cidades inteligentes.

## 2 PROBLEMA

De acordo com [3], uma cidade inteligente, focada no indivíduo, adotaria serviços que nascem das necessidades reais das pessoas, os quais seriam projetados através de processos interativos e colaborativos com os indivíduos que a integram. Nesse cenário, as pessoas, em vez da tecnologia, seriam os verdadeiros atores da inteligência urbana, formando um ecossistema de inovação participativo.

Porém, a oferta de soluções de IoT ainda se baseia, principalmente, em aplicações desenvolvidas especificamente para cenários concretos, sem integrar suas funcionalidades no ambiente em que o usuário está inserido [1]. No caso das pessoas com deficiência visual, essa integração é uma necessidade, pois a sinalização precária e a presença de barreiras físicas e de informação são empecilhos que interferem no processo de locomoção.

## 3 SOLUÇÃO

A solução proposta neste trabalho objetiva aprimorar o hardware do projeto Bengala Eletrônica, provendo uma arquitetura de comunicação, integrada ao ambiente em que o usuário se movimentar, com base nos princípios da IoT. Nesta proposta, por meio de um microcontrolador e um módulo GPS (*Global Positioning System*), embarcados na bengala, é realizado o registro e identificação das coordenadas geográficas dos obstáculos de interesse. Um smartphone permite transmitir e armazenar essas informações enviando o resultado dessa interação para um serviço de nuvem, também produzindo um retorno para o usuário. Essas informações geográficas são adquiridas através do Módulo GPS, contribuindo na mobilidade deficiente visual em espaços urbanos, dentro do contexto das cidades inteligentes.

## 4 TRABALHOS RELACIONADOS

O levantamento bibliográfico foi conduzido em três etapas. Na primeira, foi realizada uma busca por artigos de pesquisa

publicados entre janeiro de 2016 e janeiro de 2021, que contivessem no texto as expressões reunidas na string de busca: (Smart-Cane” OR “Bengala Inteligente”) AND (“Visually Impaired”). Na segunda etapa, foram selecionados artigos de acordo com seu título, palavras-chave e abstract, e assim, foram excluídas publicações não aderentes ao tema e as duplicadas. A terceira etapa envolveu a inclusão de trabalhos obtidos a partir de uma busca manual. Ao todo foram analisadas cinco publicações relevantes. O Quadro 1 ilustra a análise das tecnologias utilizadas pelos trabalhos acadêmicos e soluções comerciais similares, comparando-as com as utilizadas por este trabalho.

Autores	Tecnologias de comunicação sem fio	Registro de obstáculos	Armazenamento em Nuvem	Componentes de hardware	Arquitetura do sistema
I-cane (2016)	Bluetooth, GPS	Não	Sim	Não específica	Modelagem própria para a aplicação
Ramirez et al. (2017)	Bluetooth, 3G e GPS	Sim	Sim*	ATmega328	Modelagem própria para a aplicação
WeWalk (2018)	Bluetooth e GPS	Não	Sim	Não específica	Modelagem própria para a aplicação
Salazar (2018)	Radiofrequência e Wi-Fi	Sim	Sim*	ATmega328 e NodeMCU	Arquitetura de middleware com gateway de acesso
Valentim (2016)	Padrão IEEE 802.X	Sim	Sim	Não específica	Modelagem própria para a aplicação
Este trabalho (2021)	3G e Wi-Fi	Sim	Sim*	ESP32 e NEO-6M GPS	Arquitetura de middleware com gateway de acesso

Quadro 1. Comparação das tecnologias utilizadas nos trabalhos relacionados e nas soluções similares.

## 5 DESENVOLVIMENTO

De modo geral a arquitetura proposta possui três funcionalidades. A primeira funcionalidade possibilita o recebimento dos dados oriundos da bengala, a partir do obstáculo encontrado que deseja ser registrado. A segunda funcionalidade é a conexão com o sistema em nuvem por meio da internet, no qual ocorrem verificações de conectividade, protocolos de comunicação, identidade do dispositivo e com isso possibilitar o armazenamento das coordenadas geográficas para verificação de futuros obstáculos que serão reportados pelo usuário. Por fim, a bengala será responsável por alertar o usuário através de sinais sonoros e vibrações, caso ele venha a encontrar um obstáculo em seu trajeto.

O desenvolvimento da camada de conexão da bengala com a internet foi realizado através da rede Wi-Fi com os componentes que possibilitam esta tarefa, neste caso, o microcontrolador ESP32. O microcontrolador se conecta à internet por meio de um smartphone em modo roteador utilizando dados móveis 3G/4G que concede o acesso à internet.

As camadas seguintes da arquitetura são apresentadas como parte do sistema em nuvem, sendo a camada de middleware composta pela ESP32 que será a mediadora da tecnologia física com a digital em nuvem, através da comunicação com o protocolo HTTP com os serviços da API e o banco de dados. Deste modo o projeto visa atender os aspectos básicos para comunicação da bengala eletrônica com a estrutura em nuvem.

O serviço em nuvem utilizado no desenvolvimento deste trabalho foi o da plataforma Google Cloud. Esta tecnologia possibilitou o funcionamento do projeto, permitindo que fossem executados os fluxos de trabalho do sistema de forma gratuita por um período de 90 dias.

## 6 RESULTADOS

O primeiro teste, se baseou no registro das mensagens da conexão da bengala eletrônica com a internet. O hardware da bengala realiza a conexão com a rede e, na sequência, envia a coordenada de geolocalização para o sistema em nuvem. O resultado é o registro em tempo real da coordenada no banco de dados para análises futuras.

Também foi realizada a análise do recebimento das coordenadas enviadas pelo hardware para o banco de dados. A Figura 1 ilustra sete obstáculos gravados em tempo real, que correspondem às posições do obstáculo que serão identificadas posteriormente.

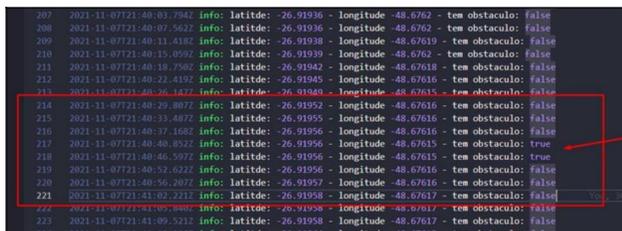
```

11 logger.info('UID: {}'.format(UID));
12 logger.info('LATITUDE: {}'.format(LATITUDE));
13 logger.info('LONGITUDE: {}'.format(LONGITUDE));
14 try:
15     const disposition = await buscarObstaculoDispositivo(UID);
16 } catch (err) {
17     console.log('ERRO: {}'.format(err));
18 }
19
2021-11-06T22:55:06.850Z info: LATITUDE: -26.91991
2021-11-06T22:55:06.850Z info: LONGITUDE: -48.67616
2021-11-06T22:55:06.876Z info: LOCALIZAÇÃO GRÁVADA: LATITUDE: -26.91991 - LONGITUDE: -48.67616
2021-11-06T22:58:11.450Z info: ESP CONECTADA
2021-11-06T22:58:11.457Z info: UID: 784d7f23-1cad-4be8-b095-ca16557fbedf
2021-11-06T22:58:11.457Z info: LATITUDE: -26.92824
2021-11-06T22:58:11.457Z info: LONGITUDE: -48.67622
2021-11-06T22:58:11.471Z info: LOCALIZAÇÃO GRÁVADA: LATITUDE: -26.92824 - LONGITUDE: -48.67622
2021-11-06T23:00:08.043Z info: ESP CONECTADA
2021-11-06T23:00:08.042Z info: UID: 784d7f23-1cad-4be8-b095-ca16557fbedf
2021-11-06T23:00:08.042Z info: LATITUDE: -26.92856
2021-11-06T23:00:08.042Z info: LONGITUDE: -48.67622
2021-11-06T23:02:16.048Z info: ESP CONECTADA
2021-11-06T23:02:16.048Z info: UID: 784d7f23-1cad-4be8-b095-ca16557fbedf
2021-11-06T23:02:16.048Z info: LATITUDE: -26.92911
2021-11-06T23:02:16.065Z info: LOCALIZAÇÃO GRÁVADA: LATITUDE: -26.9211 - LONGITUDE: -48.67645
2021-11-06T23:04:10.508Z info: ESP CONECTADA
2021-11-06T23:04:10.508Z info: UID: 784d7f23-1cad-4be8-b095-ca16557fbedf
2021-11-06T23:04:10.509Z info: LATITUDE: -26.92114
2021-11-06T23:04:10.509Z info: LONGITUDE: -48.67624
2021-11-06T23:06:19.021Z info: LOCALIZAÇÃO GRÁVADA: LATITUDE: -26.92114 - LONGITUDE: -48.67624
2021-11-06T23:06:19.021Z info: ESP CONECTADA
2021-11-06T23:06:19.022Z info: LONGITUDE: -48.67582
2021-11-06T23:06:19.052Z info: LOCALIZAÇÃO GRÁVADA: LATITUDE: -26.92886 - LONGITUDE: -48.67582
2021-11-06T23:08:18.017Z info: ESP CONECTADA
2021-11-06T23:08:18.018Z info: UID: 784d7f23-1cad-4be8-b095-ca16557fbedf
2021-11-06T23:08:18.018Z info: LATITUDE: -26.92835
2021-11-06T23:08:18.022Z info: LONGITUDE: -48.67573
2021-11-06T23:08:18.051Z info: LOCALIZAÇÃO GRÁVADA: LATITUDE: -26.92035 - LONGITUDE: -48.67571
2021-11-06T23:09:35.421Z info: ESP CONECTADA
2021-11-06T23:09:35.422Z info: UID: 784d7f23-1cad-4be8-b095-ca16557fbedf
    
```

Figura 1. Registro das coordenadas dos obstáculos.

O segundo teste foi feito com um envio de sinal sonoro. O objetivo deste teste foi garantir o atendimento do sistema as

requisições que são enviadas a cada 3 segundos, em busca de obstáculos próximos a 3 metros a partir da posição em que a bengala se encontra. A Figura 2 ilustra as requisições enviadas e o obstáculo detectado.



Line	Timestamp	info	latitude	longitude	tem obstaculo
207	2021-11-07T21:40:03.798Z	info:	-26.91936	-48.67662	false
208	2021-11-07T21:40:07.562Z	info:	-26.91936	-48.67662	false
209	2021-11-07T21:40:11.618Z	info:	-26.91938	-48.67619	false
210	2021-11-07T21:40:15.059Z	info:	-26.91939	-48.67662	false
211	2021-11-07T21:40:18.750Z	info:	-26.91962	-48.67618	false
212	2021-11-07T21:40:22.410Z	info:	-26.91985	-48.67616	false
213	2021-11-07T21:40:26.142Z	info:	-26.91969	-48.67615	false
214	2021-11-07T21:40:29.887Z	info:	-26.91952	-48.67616	false
215	2021-11-07T21:40:33.487Z	info:	-26.91955	-48.67616	false
216	2021-11-07T21:40:37.168Z	info:	-26.91956	-48.67616	false
217	2021-11-07T21:40:40.857Z	info:	-26.91956	-48.67615	true
218	2021-11-07T21:40:44.597Z	info:	-26.91956	-48.67615	true
219	2021-11-07T21:40:52.622Z	info:	-26.91956	-48.67616	false
220	2021-11-07T21:40:56.207Z	info:	-26.91957	-48.67616	false
221	2021-11-07T21:41:00.211Z	info:	-26.91958	-48.67617	false
222	2021-11-07T21:41:04.040Z	info:	-26.91958	-48.67617	false
223	2021-11-07T21:41:08.510Z	info:	-26.91958	-48.67617	false

Figura 2. Obstáculo detectado.

As coordenadas dos obstáculos, reportadas e enviadas para o banco de dados (simulando o obstáculo detectado) foram enviadas à plataforma Google Maps para localização e registro do local em que cada obstáculo se encontra. Dos 10 obstáculos registrados, 8 foram detectados, originando uma precisão de 80% no reconhecimento. A Figura 3 ilustra em verde os obstáculos detectados e em vermelho os obstáculos não detectados.

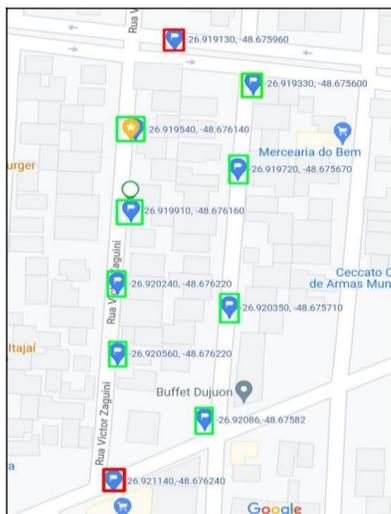


Figura 3. Obstáculos detectados e não detectados.

A não detecção dos obstáculos testados poderia estar relacionada com a precisão do módulo GPS utilizado neste projeto. A alteração no número de satélites pareados com o módulo no momento da gravação ou da identificação da coordenada geográfica, também poderiam ocasionar essa imprecisão e como o celular é o mediador entre o microcontrolador e o servidor, um atraso no envio das informações poderia interferir na detecção. Cabe salientar que a bengala possui um sistema eletrônico de detecção de obstáculos que atuaria em caso de falhas do sistema proposto.

## 7 CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu a integração entre software e hardware de uma arquitetura de Internet das Coisas para uma bengala eletrônica no contexto das cidades inteligentes. Destacam-se as funcionalidades desenvolvidas neste projeto, sendo: o registro das coordenadas de geolocalização dos obstáculos de interesse; o envio das coordenadas do obstáculo detectado para um sistema em nuvem, sendo armazenadas para eventos futuros; o reconhecimento (identificação) das posições dos obstáculos previamente gravados; e o alerta, por meio de sinais sonoros, quando o usuário se encontra próximo a um obstáculo. A arquitetura foi desenvolvida em linguagem C/C++ para o ESP-32, e o JavaScript foi usado no projeto do servidor da aplicação, permitindo que novas funcionalidades possam ser implementadas futuramente, em especial, com a utilização de tecnologias como Node.js, JavaScript, MySQL. Foi escolhido o sistema em nuvem da Google Cloud, pela facilidade de uso de diversos recursos.

O envio e recebimento dos dados de geolocalização do hardware, baseado no microcontrolador ESP-32 com a rede e o servidor, obteve um resultado satisfatório, mesmo com o uso de um smartphone para o acesso à internet. Por sua vez, quando detectado um obstáculo a bengala envia a localização do mesmo e, posteriormente, dispara as requisições para a API que procura, dentre as coordenadas já arquivadas no banco de dados, pela existência de um obstáculo registrado. Todo o processo é realizado via nuvem com uma máquina no servidor da Google Cloud.

Este projeto traz diversas possibilidades de melhorias futuras. Dentre as sugeridas, a fim de redução de consumo de energia, a utilização de componentes de hardware em placas PCI e um algoritmo para a detecção inteligente de obstáculos. Outra sugestão seria a implementação de um aplicativo mobile que possa ser integrado a bengala e que permita ao usuário enviar e receber mensagens de áudio pré-configuradas. Estudar como melhorar a precisão na identificação dos obstáculos armazenados também poderá ser objeto de trabalhos futuros, assim como a inclusão de aspectos de segurança e autenticação.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq, Brasil (Processo 315338/2018-0) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação no Estado de Santa Catarina FAPESC (No. 2021TO001236).

## REFERÊNCIAS

- [1] Ramirez, A.R.G.; et al, Towards Visually Impaired Autonomy in Smart Cities: In: Saqib Saeed; Yasser A. Bamarouf; T. Ramayah; Sardar Zafar. (Org.). Design Solutions for User-Centric Information Systems. 1ed.: IGI Global, 2017, v., p. 341-365.
- [2] Cook, A.; PolgarR, J. Essentials of Assistive Technologies-E-Book. 2014.
- [3] Perera A. C., Zaslavsky, A., christen, p., georgakopoulos, D. (2014). Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of Things. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 25(1), 81-93. doi:10.1002/ett.2704.