

# Plataforma Open-hardware de baixo custo para teste de dispositivos IoT voltados para Smart Cities

Diógenes V. M. Ferreira<sup>1,2,3</sup>, Vitor N. Coelho<sup>3,4</sup>, and Sidelmo M. Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil

<sup>2</sup> Laboratório de Automação Predial - Departamento de Controle e Automação - Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil

<sup>3</sup> Grupo da Causa Humana, Ouro Preto, Brazil

<sup>4</sup> Instituto de Computação, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil

<sup>5</sup> Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

viegas.diogenes@gmail.com

**Resumo** Em todo o mundo, empresas de diversas áreas de tecnologia têm como um dos focos de suas pesquisas a Internet das Coisas. Muitos pesquisadores acreditam que ela irá trazer ao mundo contemporâneo uma nova revolução da informação, estabelecendo novos protocolos e paradigmas de comunicação. A ideia principal deste paradigma é que todos os objetos estarão conectados à internet possibilitando monitoramento e controle, além da interação entre eles por meio do recebimento e envio de informação. Dentro deste conceito abrangente, situa-se outro que também vem recebendo considerável visibilidade, as *Smart Cities*. Uma “Cidade Inteligente” é aquela em que objetos, lugares, equipamentos e, até mesmo, seres vivos estão interconectados de alguma forma, interagindo de forma distribuída e autônoma, monitorando, armazenando, tratando e otimizando dados de forma a deixar espaços compartilhados mais confortáveis, seguros e sustentáveis. Toda essa “inteligência” embarcada e todo esse tráfego de dados necessitam de um processamento de uma quantidade enorme de informação e consomem muita energia para funcionar. Com isso, torna-se extremamente necessário que o desenvolvimento de novas tecnologias de *hardware* acompanhe essa demanda de dispositivos de baixo consumo. Além disso, *hardwares* especializados, como o proposto nesse trabalho, são de grande importância para atingir esses propósitos requisitados. Este trabalho faz um aprofundamento no conceito da Internet das Coisas, focando no desenvolvimento de *Smart Cities* e em seguida, apresenta uma proposta de uma plataforma de *hardware* que possibilita o desenvolvimento de dispositivos para *Smart Cities*. O arcabouço apresentado não se atém a apenas um protocolo de comunicação, visto que um protocolo universal ainda não foi definido.

**Keywords:** Smart Cities, IoT, Sistemas Embarcados, Hardware

## 1 Introdução

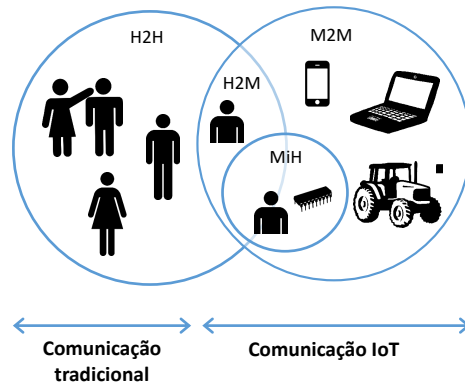
Com o desenvolvimento da computação móvel, das comunicações sem fio e o aumento da complexidade dos equipamentos eletrônicos, vem ganhando cada vez mais espaço no campo da ciência da computação um novo paradigma chamado Internet das Coisas (*IoT – Internet of Things*) [1,2,3]. Esse conceito vem também sendo denominado como Internet de Tudo, do inglês *Internet of Everything* [4,5,6]. De forma comum, essas tecnologias promovem uma forma de distribuir, ao nosso redor, coisas e objetos diversos conectados entre si ou até mesmo na internet, com a capacidade de interagir e cooperar com vizinhos. Os fins de cada agente/dispositivo é distinto, alguns são egoístas, otimizando seus próprios interesses [7]; enquanto outros atuam com o fim de alcançar um objetivo comum. O mar de informações oriundo de sensores auto-configuráveis [8,9] poderá ser rotulado, processado e transmitido. Essas informações poderão melhorar a condição de nossas vidas e facilmente resolver problemas do cotidiano [10], principalmente, com o auxílio de técnicas da Inteligência Artificial (AI) e tomadas de decisão sábias, inspiradas em estratégias da Pesquisa Operacional (PO). Do mesmo modo, todas as “coisas” conectadas à rede se tornarão participantes ativos do ambiente onde forem instalados, possuindo as seguintes habilidades:

- Reagir de forma autônoma segundo dados de sensoriamento e Inteligência Artificial embarcada;
- Analisar dados oriundos de outros dispositivos ligados à rede e utilizar-se deles para interferir no meio, modificar parâmetros internos, comparar com dados internos e oferecer uma resposta;
- Analisar comportamento e padrões tornando seu funcionamento cada vez mais eficiente e inteligente;
- Receber intervenções humanas por meio de “centrais de comando” a fim de coordenar suas funções com necessidades dinâmicas;

Dessa forma, mais do que estarem conectados à internet, os dispositivos estão começando a conversar entre si e tomar decisões sem necessariamente exigir a interferência humana. Neste cenário surge a possibilidade de comunicações “*Machine to Machine*” (M2M), “*Human to Machine*” (H2M) e “*Machine in Humans*” (MiH) [11,12]. A figura 1 apresenta uma demonstração visual desses tipos de comunicação.

Segundo Chourabi et al., o desenvolvimento das *Smart Cities* (SC) será necessário para se mitigar os problemas causados pelo grande aumento da população urbana, que vem acontecendo não só no nosso país, mas no mundo inteiro [14]. O relatório de prospecção de urbanização da ONU mostra que este processo de urbanização tende a continuar acelerado pelos próximos anos[15]. Devido a esse crescimento acelerado, cidades antes planejadas para atender um número de cidadãos terão agora que acomodar um contingente ainda maior de pessoas.

Apesar de todo avanço existente na área de computação e sistemas embarcados, a Internet das Coisas e os consequentes sonhos idealizados para as SC



**Figura 1.** Tipos de comunicação possíveis dentro da IoT. - Adaptado [13].

enfrentam um problema aparentemente simples. Essa barreira, que limita alguns sistemas de serem integrados à rede, é a falta de padronização de um protocolo de comunicação de dispositivos para *IoT*. Nesse contexto, essa carência de consenso atrasa o desenvolvimento de dispositivos que possam atender às demandas de cidades do futuro. Visando contornar este problema, neste trabalho, propõe-se uma plataforma de *hardware* que funciona em diversos tipos de protocolos de comunicação sem fio. Em especial, busca-se conceber um arcabouço capaz de testar e desenvolver dispositivos para internet das coisas, independentemente do protocolo de comunicação desejado. Além disso, contribui-se para a literatura apresentando, em detalhes, a placa de circuito impresso (PCI) desenhada e implementada, a qual possibilita a conexão de diferentes tipos de sensores para que diversas soluções possam ser testadas. A plataforma desenvolvida, é de baixo custo e possui o potencial de substituir os kits de testes de fabricantes (que muitas vezes são caros, principalmente no Brasil). Ressaltam-se as seguintes contribuições deste presente trabalho:

- Discussão de novos paradigmas de comunicação nas cidades inteligentes, por meio de dispositivos embutidos com *IoT*;
- Concepção de uma nova placa para testes em ambientes interconectados:
  - Plataforma híbrida capaz de suportar distintos protocolos de comunicação do estado-da-arte;
  - Possível arcabouço flexível, robusto e de baixo custo para ser utilizado em cidades e redes inteligentes;

O restante do trabalho foi dividido como mostrado a seguir. Na Seção 2, apresenta-se a interligação entre *IoT* e o conceito de *Smart Cities*. É feita uma breve introdução dos conceitos e o estado-da-arte do cidades inteligentes e *IoT*. A Seção 3 detalha um exemplo que motiva o avanço de dispositivos unificados. Para tal, exaltamos uma placada que poderia ser utilizada para testes de redes de

comunicação alinhadas com os conceitos requisitados pelas SC. Tal dispositivo poderia ser uma base sólida para embarcar técnicas de inteligência computacional e o paradigma dos sistemas multi-agentes. Finalmente, a Seção 4 apresenta as conclusões obtidas na pesquisa e no desenvolvimento deste trabalho, bem como, aponta diretrizes futuras.

## 2 Smart Cities e a IoT

A aplicação do paradigma *IoT* no contexto urbano para solucionar problemas de gerenciamento de serviços urbanos é que nasce um dos conceitos de *Smart City* [16]. Mesmo que não exista ainda uma definição exata de “*Smart City*”, é sabido que tal conceito foi inicialmente difundido nas áreas tecnológicas. Devido a grande acato social, distintas áreas vêm discutindo o escopo deste amplo tema, que envolve, sem dúvidas, inteligência de dispositivos e melhor planejamento urbano e social. Um dos objetivos principais é se fazer um melhor uso dos recursos públicos a fim de se melhorar os serviços oferecidos aos cidadãos, enquanto custos operacionais por parte da administração pública e impactos ambientais são reduzidos [17]. Assim sendo, a tecnologia aplicada a sistemas *IoT* pode ser capaz de oferecer ferramentas aos planejadores urbanos com o objetivo de apoiar a melhoria contínua dos espaços urbanos.

Uma das maiores contribuições para o crescimento do Mercado de *IoT* é a crescente demanda por cidades inteligentes em uma escala global. Existem atualmente mais de 200 projetos de cidades inteligentes ao redor do mundo, que produzem oportunidades gigantescas para vendedores de *IoT* e companhias de consultoria da área.

De fato, a *IoT* abre um leque de opções gigantesco para aplicações em *Smart Cities* [3]. São aplicações desde o monitoramento em tempo real da qualidade da água dos rios e fontes que abastecem uma determinada região à sistemas de controle de iluminação pública. Escolar e colaboradores propuseram um sistema de controle adaptativo em fontes de luz e conseguiram uma economia de energia de 35% [18].

Kevin Ashton, co-fundador e diretor executivo do Centro de Auto-ID no MIT, cunhou o termo Internet das Coisas [19,20] e o mencionou pela primeira vez em uma apresentação que ele fez para a *Procter & Gamble* em 1999. Segundo ele, praticamente todos os dados disponíveis na internet até aquele momento teriam sido capturados e criados por seres humanos de forma manual, e que por a raça humana não ser boa em captar dados do mundo real por limitação de tempo, atenção e precisão, o ideal seria que se tivesse computadores que aprendessem tudo que existe para saber sobre as coisas. Nesse sentido, os equipamentos capturariam dados de forma autônoma e poderiam dar informações sobre todos os dispositivos na rede, assim, seria possível se identificar quando eles precisariam de substituição, reparação ou *recall* e se eles já teriam “dado o melhor de si” [21].

Desta forma, nota-se que a ideia de *IoT* se iniciou há um bom tempo. Nos anos 90, tecnologias como RFID, sensores e algumas inovações *wireless* leva-

ram a algumas aplicações conectando dispositivos e “coisas”. A maioria das aplicações de RFID, naquela época, envolviam logística, depósitos e as redes de fornecedores em geral. Apesar das dificuldades na época, o uso de RFID (e junto com ele, outras tecnologias sem fio, como NFC ou “*Near Field Communication*”), tornaram-se populares em áreas além de logística e gerenciamento de rede de fornecedores, desde: transporte público; identificação (de animais de estimação para as pessoas); controle e pagamento automático de pedágios; controle de acesso e autenticação; monitoramento de tráfego; varejo; até, naquela época, formas inovadoras de publicidade *outdoor*. Este crescimento da utilização da tecnologia foi, entre outros, devido à redução do custo das *tags* e da padronização de protocolos. Com o advento da tecnologia e o surgimento de microprocessadores cada vez mais velozes, consumindo cada vez menos energia [22] e custando cada vez menos, a *IoT* começou a se tornar algo mais complexo. Sistemas com elevadíssima capacidade de processamento de dados começaram a surgir, trazendo consigo um novo universo de possibilidades, aparentemente, sem limites para a *IoT*. Dessa forma, mais do que estarem conectados à internet, os dispositivos estão começando a conversar entre si e tomar decisões sem necessariamente exigir a interferência humana [12].

## 2.1 Unificando as cidades com protocolo e padronizações

Com tantas empresas trabalhando em diferentes produtos, tecnologias e plataformas, fazer com que esses dispositivos comuniquem entre si não será uma tarefa fácil e a compatibilidade mundial muito provavelmente não ocorrerá. Diversos grupos estão trabalhando para criar um protocolo aberto que possa permitir a interoperabilidade entre diversos produtos. Entre eles estão *AllSeen Alliance* que possui *Qualcomm*, *LG*, *Microsoft*, *Panasonic* e *Sony* como membros e o *Open Interconnect Consortium (OIC)*, que possui apoio da *Intel*, *Cisco*, *GE*, *Samsung* e *HP*. Outros protocolos já difundidos também se categorizam dentro da *IoT* como *Wi-Fi*, *LE Bluetooth*, *NFC*, *RFID* que são largamente utilizados em produtos de consumo e outros como *ZigBee*, *Z-Wave* e *6LoWPAN* que vem sendo utilizados em aplicações industriais e prediais. Todavia, ainda não está claro quem irá vencer essa “batalha” de protocolos, mas muitos acreditam que vamos acabar com três ou quatro protocolos diferentes ao invés de um único como já ocorre em diversos outros setores de tecnologia. Como o caso das placas *embedded linux* que estão sendo fabricadas (*Raspberry Pi*, *BeagleBoard*, *Intel Galileo*, entre outras) e embutidas com distintos protocolos. Soluções de equipamentos que se comuniquem por mais de um protocolo podem vir a surgir, mas nesse meio tempo o consumidor terá de escolher um fabricante e se limitar aos seus produtos e outros que se comuniquem com eles. Vermesan e Friess, discursam sobre diversos padrões e protocolos que estão sendo desenvolvidos, dentre eles, CEN/ISO e CENELEC/IEC, ETSI, IEEE, IETF, ITU-T, OASIS, OGC, oneM2M e o GSI [23].

Neste cenário diversificado em que cada desenvolvedor e seus apoiadores defendem a supremacia de suas propostas de padronização da comunicação de dispositivos, muitos irão se destacar seja por funcionalidade, custo ou eficiência.

Por outro lado, como muitos ainda estão em processo de desenvolvimento, ainda não se pode afirmar qual será o protocolo definido para os dispositivos inteligentes.

## 2.2 Um mar de informações e big-data

Um dos problemas enfrentados por grande parte dos desenvolvedores de protocolos de comunicação em *IoT* é estabelecer a interoperabilidade entre os diferentes dispositivos presentes na rede ao mesmo passo que possibilita seu acesso através de um *IPv6* na nuvem. Visando ultrapassar esta barreira, parcerias vêm sendo feitas entre diferentes protocolos a fim de se chegar a um consenso, no que se diz respeito a uma linguagem de comunicação padrão universal para *IoT*.

Tal ponto afeta diretamente as SC, visto que uma grande gama de dispositivos estão se comunicando e atuando. Para concretizar aplicações reais e que operem de forma segura e efetiva faz-se necessário melhores padronizações e protocolos.

Uma grande parceria foi feita em 2015 entre a *ZigBee Alliance* [24], um dos padrões que domina hoje o mercado de *IoT* e a *Thread Group*, um padrão considerado promissor entre os especialistas que roda sobre o protocolo de rede *IPv6* e um padrão de rede aberto (*Open standard networking protocol*) para redes 802.15.4 de baixo consumo que pode se conectar a centenas de dispositivos ou diretamente à nuvem de forma simples e segura [25]. Esta parceria que foi definida como *ZigBee* sobre *Thread* (*ZigBee over Thread*) visava solucionar os problemas de interoperabilidade entre dispositivos ao mesmo passo que facilitava a comunicação deste tipo de rede com a nuvem onde sistemas poderiam se comunicar através da linguagem *ZigBee* em uma rede *Thread* [26].

Outro grande problema é a definição de um padrão de perfis de dispositivos, ou seja, padronizar de forma universal as características e funções de diferentes dispositivos. A *ZigBee Alliance* criou o que chamaram de *ZigBee Cluster Library*, que nada mais é que uma biblioteca de perfil de dispositivos que usam o padrão *ZigBee*.

Ashton, apesar de mostrar em seu artigo que ainda não existe um padrão de comunicação acordado, afirma que a convergência da *IoT* está próxima [27]. No dia 3 de Janeiro deste ano, na maior mostra e conferência internacional de produtos eletrônicos focados ao consumidor (CES 2017), a *Zigbee Alliance* apresentou um novo padrão que clama ser a linguagem universal para *IoT* [28]. Levando o nome de *Dotdot*, essa nova linguagem para *IoT* que trabalha em conjunto com a rede IP da *Thread* promete aliar todas os requisitos necessários para atender às demandas atuais e futuras da *IoT* [29]. É muito provável que teremos em um futuro próximo, soluções e trabalhos científicos em *IoT* que se baseiem nestas tecnologias.

Limites para aplicações de *IoT* para *Smart Cities* parecem não existir. Nos próximos anos são esperadas infinitas soluções que prometem aumentar a segurança, melhorar a qualidade de vida e promover o consumo de energia mais consciente em nossas cidades.

### 3 Exemplificando o potencial das pequenas aplicações

Os conceitos apresentados e enfatizados neste trabalho exaltam um dos problemas atualmente enfrentados por parte dos desenvolvedores de sistemas. Devido a dificuldade para chegar-se a um consenso de um protocolo de comunicação universal, esta seção motiva estudos, avanço e desenvolvimento de uma plataforma de *hardware*. O arcabouço apresentado, apesar de não ser muito complexo, apresenta-se como uma solução dinâmica no que diz respeito ao protocolo de comunicação e sensores/atuadores a serem utilizados em:

- Novos dispositivos para as cidades inteligentes:
  - Iluminação pública; Controle de Tráfego; Controle de Qualidade do Ar; entre outros.
- Novos dispositivos para as redes inteligentes:
  - Comunicação entre fontes de energia renovável ou entre consumidores, em sistemas *microgrid*; Mercado de venda e troca de energia; entre outros.

Com relação ao protocolo de comunicação, os autores se basearam na plataforma de módulos de comunicação *thru-hole* da empresa DIGI chamada de *XBee* [30]. O motivo de tal escolha se deve ao fato de que esta empresa mantém uma mesma plataforma de *hardware* para todos os seus módulos de comunicação sem fio, e com isso, o *hardware* proposto suporta qualquer módulo deste fabricante, podendo assim ser usado para testar diversas redes apresentadas na Figura 2 e também uma rede *Bluetooth*, utilizando módulo de outros fabricantes que se baseiam na plataforma da *DIGI*.

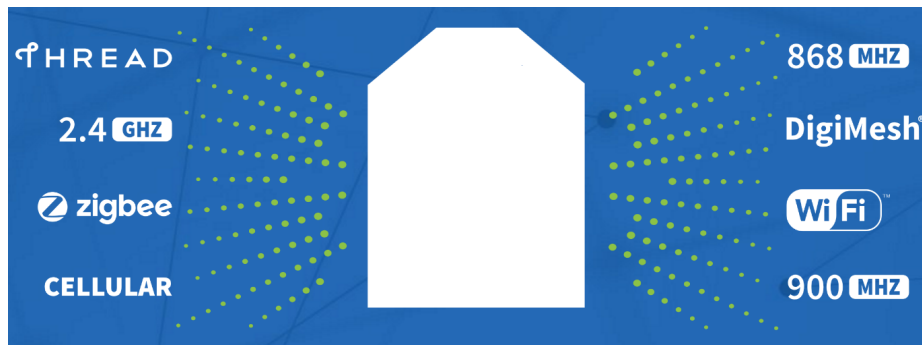
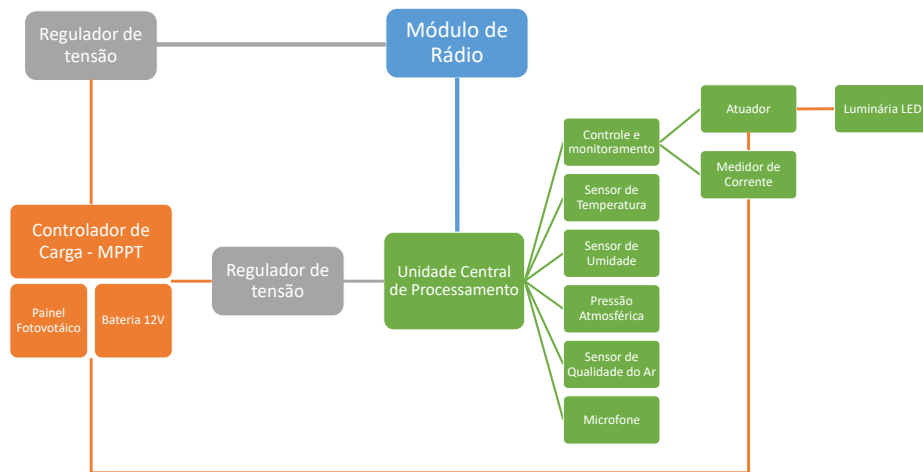


Figura 2. Módulo *Xbee* - Adaptado DIGI

A figura 3 apresenta um diagrama mostrando os módulos do sistema proposto e a forma em que eles estão interligados. Nela pode ser observado que é possível a conexão de diferentes sensores a serem utilizados em inúmeras aplicações.



**Figura 3.** Estrutura do sistema proposto

A Figura 4 mostra um modelo em 3D do aspecto final da placa desenvolvida, já conectada em um módulo da empresa DIGI e um diagrama apresentando os diferentes protocolos que podem ser testados nela. Já a Figura 5 mostra o circuito final desenvolvido no Laboratório de Automação Predial (LAP), da Universidade Federal de Ouro Preto.

A PCI proposta <sup>6</sup> possui dois barramentos de extensão de 6 pinos cada, separados em 22mm que possibilitam a ligação de uma outra PCI contendo sensores, atuadores ou até mesmo microcontroladores a serem testados antes de se desenvolver o protótipo final de algum dispositivo a ser produzido. Estes barramentos de extensão fornecem alimentação de 5V/3.3V; conexão com entradas e saídas digitais do módulo Xbee e portas de comunicação serial. Com isso, a plataforma proposta é dinâmica e flexível tanto no sentido de protocolo de comunicação como na sua função/aplicação em *IoT*.

A PCI é composta por diversos componentes eletrônicos que fazem a interface entre o módulo a ela ligado, a fonte de alimentação e a placa de extensão conectada nos barramentos. A interface com a fonte de alimentação é feita através de 2 reguladores de tensão que regulam uma tensão de entrada em corrente contínua entre 7,5-35V para 3,3V e 5V. Também estão colocados na placa alguns LED's, botões e potenciômetros que possibilitam o teste de portas I/O (entrada e saída) analógicas e digitais do módulo. Já os barramentos de 6 pinos, estão conectados diretamente aos módulos, possibilitando assim a conexão de uma infinidade de sensores, atuadores e microcontroladores ao módulo tendo a sua funcionalidade modificável. O CI'S U1 e U2 são reguladores de tensão da *Texas Instruments*,

<sup>6</sup> Para acesso ao modelo realístico 3D e o diagrama eletrônico completo acesse [https://www.dropbox.com/sh/vaio0t1so40tn1e/AABPKvPLVSVjdMm\\_IG0rhqL0a?dl=0](https://www.dropbox.com/sh/vaio0t1so40tn1e/AABPKvPLVSVjdMm_IG0rhqL0a?dl=0)



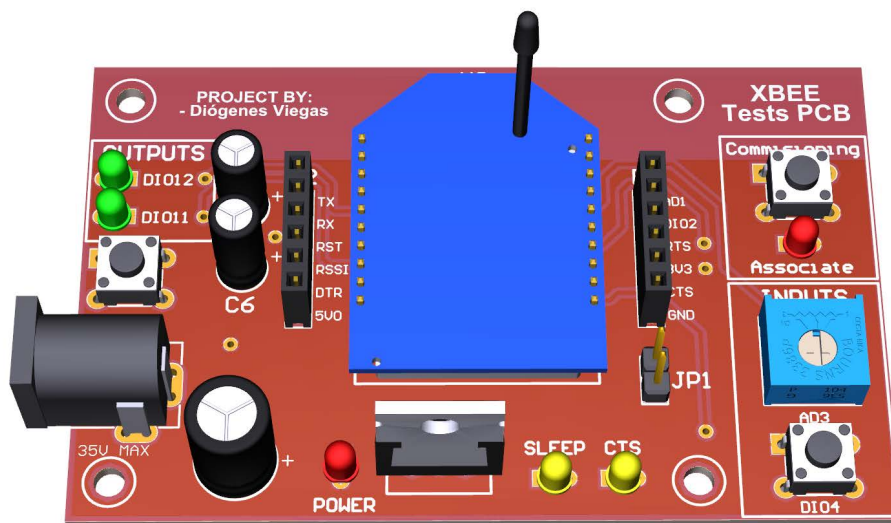


Figura 4. Modelo 3D realístico da PCI

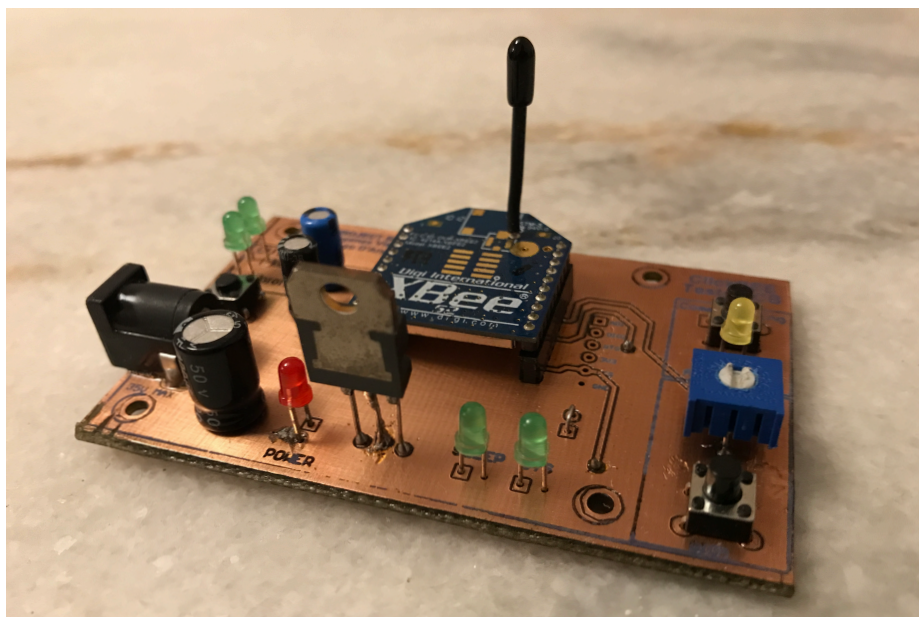


Figura 5. Sistema montado

sendo o primeiro o LM7805 que possui tensão de saída de  $5 \pm 0.1V$  e o segundo o LM2937-3.3 que possui tensão de saída de  $3.3 \pm 0.1V$ , estas tensões são sufici-

entes para alimentar tanto o módulo conectado à PCI, quanto à placa extensora contento os outros dispositivos.

Por ser um sistema flexível, ou seja, ter a capacidade de se conectar à diversos módulos de comunicação sem fio e também possibilitar a conexão de placas de expansão, a plataforma proposta oferece a possibilidade de uso de sistemas para aplicações mais robustas e de alto desempenho. Com isso, podem ser ligados a ela microprocessadores de alta performance ou até mesmo GPU's para um possível processamento de dados *in locu* e em tempo real para diversas funções.

Apesar de não ter um nível de complexidade muito elevado, a plataforma proposta foi desenvolvida para servir de ferramenta dinâmica para testes de diferentes dispositivos e aplicações para sistemas baseados em *IoT* para serem utilizados no ambiente de *Smart Cities*. O fabricante já oferece uma plataforma similar, mas o custo elevado principalmente no Brasil, motivou o grupo a desenvolver o próprio sistema de baixo custo.

## 4 Considerações finais e possíveis extensões

Neste trabalho, foi abordado o conceito de Internet das coisas e sua relação com Cidades Inteligentes. Essa nova tendência, a de interconectar as “coisas”, e fazê-las trocarem informações, se torna essencial para a existência de um sistema inteligente em que máquinas fazem todo o trabalho do homem com o objetivo de tornar o ambiente em que ele vive, mais seguro, mais agradável e muito mais sustentável. Novas tecnologias de sistemas embarcados com funcionalidades em *IoT* vêm sendo desenvolvidas dentro dos padrões em que os fabricantes fazem parte, e com isso a intercomunicabilidade entre dispositivos se torna impossível. Visando obter uma plataforma de *hardware* que possibilite o teste de dispositivos *IoT* sem se ater a um determinado tipo de protocolo, um simples estudo de caso exaltou um *hardware* que pode ser testado em diferentes tipos de comunicação. Tal dispositivo motiva a unificações do protocolos, em especial, no contexto das cidades inteligentes.

Com mais iniciativas que seguissem o âmbito desse trabalho poderia-se evitar uma rápida inutilização dos sistemas que vêm sendo propostos, visto que um protocolo universal (ou mais) serão definidos. Mesmo que tal fato não ocorra, a compatibilidade deve ser um dos objetivos centrais para o desenvolvimentos de dispositivos que sejam compatíveis com as nossas cidades do futuro.

De uma forma geral, o sistema proposto mostra-se como uma interessante solução para testes de rede e sensores diversos para aplicações em um ambiente de cidade inteligente. Com o objetivo de se entender melhor a dinâmica de uma cidade e atuar de forma a otimizar serviços e propor novas soluções, um sistema deste tipo serve como base para evolução no desenvolvimento de um sistema comercial *IoT* para *Smart Cities*.

## 5 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), e ao seu Laboratório de Automação Predial (LAP) do Departamento de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais (DECAT) , pela infraestrutura indispensável para realização deste trabalho. Também gostariam de agradecer à Fundação Gorceix, pelo apoio financeiro.

## Referências

1. L. Tan, N. Wang, Future internet: The internet of things, in: *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, 2010 3rd International Conference on, Vol. 5, IEEE, 2010, pp. V5–376.
2. J. M. Hernández-Muñoz, J. B. Vercher, L. Muñoz, J. A. Galache, M. Presser, L. A. H. Gómez, J. Pettersson, Smart cities at the forefront of the future internet, in: *The Future Internet Assembly*, Springer, 2011, pp. 447–462.
3. A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, M. Zorzi, Internet of things for smart cities, *IEEE Internet of Things journal* 1 (1) (2014) 22–32. doi:10.1109/JIOT.2014.2306328.
4. R. Y. Clarke, Smart cities and the internet of everything: The foundation for delivering next-generation citizen services, Alexandria, VA, Tech. Rep.
5. S. Mitchell, N. Villa, M. Stewart-Weeks, A. Lange, The internet of everything for cities, *Connecting People, Process, Data, and Things to Improve the ‘Livability’ of Cities and Communities*, Cisco.
6. A. Majeed, Developing countries and internet-of-everything (ioe), in: *Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, 2017 IEEE 7th Annual, IEEE, 2017, pp. 1–4.
7. D. Weyns, A. Omicini, J. Odell, Environment as a first class abstraction in multi-agent systems, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 14 (1) (2007) 5–30. doi:10.1007/s10458-006-0012-0.
8. M. Batty, Big data, smart cities and city planning, *Dialogues in Human Geography* 3 (3) (2013) 274–279.
9. R. Kitchin, The real-time city? big data and smart urbanism, *GeoJournal* 79 (1) (2014) 1–14.
10. O. Vermesan, European research cluster on the internet of things-outlook of iot activities in europe.
11. J. Poncela, J. Moreno, M. Aamir, Analysis of m2m capabilities in 4g, in: *Wireless Communications, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems (VITAE)*, 2014 4th International Conference on, IEEE, 2014, pp. 1–5.
12. R. Minerva, A. Biru, D. Rotondi, Towards a definition of the internet of things (iot), *IEEE Internet Initiative* (1).
13. D. Minoli, *Building the internet of things with IPv6 and MIPv6: The evolving world of M2M communications*, John Wiley & Sons, 2013.
14. H. Chourabi, T. Nam, S. Walker, J. R. Gil-Garcia, S. Mellouli, K. Nahon, T. A. Pardo, H. J. Scholl, Understanding smart cities: An integrative framework, in: *System Science (HICSS)*, 2012 45th Hawaii International Conference on, IEEE, 2012, pp. 2289–2297. doi:10.1109/HICSS.2012.615.

15. ONU, World urbanization prospects: The 2014 revision, Department of Economic and Social Affairs, UN.
16. H. Schaffers, N. Komninos, M. Pallot, B. Trousse, M. Nilsson, A. Oliveira, Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation, in: The Future Internet Assembly, Springer, 2011, pp. 431–446. doi:10.1007/978-3-642-20898-0\_31.
17. M. Peris-Ortiz, D. R. Bennett, D. P.-B. Yábar, Sustainable smart cities doi:10.1007/978-3-319-40895-8.
18. S. Escolar, J. Carretero, M.-C. Marinescu, S. Chessa, Estimating energy savings in smart street lighting by using an adaptive control system, International Journal of Distributed Sensor Networks doi:10.1155/2014/971587.
19. K. Ashton, That ‘internet of things’ thing, RfID Journal 22 (7) (2009) 97–114.
20. S. Madakam, R. Ramaswamy, S. Tripathi, Internet of things (iot): A literature review, Journal of Computer and Communications 3 (05) (2015) 164.
21. T. Guardian, The internet of things is revolutionising our lives, but standards are a must — media network — the guardian, <https://www.theguardian.com/media-network/2015/mar/31/the-internet-of-things-is-revolutionising-our-lives-but-standards-are-a-must>, (Acessado em 29/01/2017) (Março 2015).
22. D. B. Kirk, W. H. Wen-mei, Programming massively parallel processors: a hands-on approach, 2nd Edition, Morgan Kaufmann, 2012.
23. O. Vermesan, P. Friess, Internet of things - from research and innovation to market deployment, River Publishers Aalborg, 2014.
24. Zigbee, zigbee alliance, <http://www.zigbee.org/>, (Acessado em 20/03/2017).
25. T. Group, Zigbee alliance and thread group successfully demonstrate products running zigbee’s universal language for smart devices on thread networks ¿ thread group, <https://threadgroup.org/news-events/press-releases/ID/140/ZigBee-Alliance-and-Thread-Group-Successfully-Demonstrate-Products-Running-ZigBees-Universal-Language-for-Smart-Devices-on-Thread-Networks>, (Acessado em 20/02/2017) (Dezembro 2016).
26. J. Jacobson, Zigbee teams with thread group on ipv6 home automation protocol - ce pro, [http://www.cepro.com/article/zigbee\\_teams\\_with\\_thread\\_group\\_on\\_ipv6\\_home\\_automation\\_protocol](http://www.cepro.com/article/zigbee_teams_with_thread_group_on_ipv6_home_automation_protocol), (Acessado em 20/02/2017) (Abril 2015).
27. S. Ashton, Iot convergence is coming — EE times, [http://www.eetimes.com/author.asp?section\\_id=36&doc\\_id=1331309](http://www.eetimes.com/author.asp?section_id=36&doc_id=1331309), (Acessado em 20/02/2017) (Fevereiro 2017).
28. ZigBee-Alliance, The zigbee alliance to unveil universal language for the iot from ces 2017, <http://www.zigbee.org/the-zigbee-alliance-to-unveil-universal-language-for-the-iot-from-ces-2017-making-it-possible-for-smart-objects-to-work-together-on-any-network/>, (Acessado em 20/02/2017) (Janeiro 2017).
29. P. Gutierrez, Zigbee alliance launches new iot language - news - iot hub, <https://www.iothub.com.au/news/zigbee-alliance-launches-new-iot-device-language-446800>, (Acessado em 20/02/2017) (Janeiro 2017).
30. DIGI, M2m communications, remote monitoring & management - digi international, <https://www.digi.com/>, (Acessado em 20/03/2017).