

Towards an Adaptive Internet of Things Architecture

L. B. Campos and C. E. Cugnasca

Abstract— Internet of Things (IoT) is a new communication paradigm establishing full communication between people and any object over the Internet. IoT has attracted the attention of researchers around the world and has opened new lines of research, among them, IoT Architectures. But apart from the different visions of its architects, the current proposals do not allow adaptive. Thus, this paper presents an adaptive-based approach for obtaining layered architectures of IoT. The approach is based on dynamic mapping of the requirements in an adaptive architecture. This technique shows the application of the concepts of adaptive in a developing area and helps to guide IoT Architectures.

Keywords— Adaptive Architecture, Internet of Things, Requirements, Guidance Architecture.

I. INTRODUÇÃO

INTERNET DAS COISAS (*Internet of Things* – IoT) é um paradigma que tem movido a sociedade em uma direção onde coisas e pessoas estarão interconectados [1]. Perspectivas futuras apontam que em 2015 haverá três vezes mais aparelhos conectados por meio da Internet do que pessoas [15]. Dessa forma, IoT tem atraído atenção de vários centros de pesquisas ao redor do mundo e gerado um pico de expectativas, conforme relatório recente emitido pela Gartner’s IT [16]. Entretanto, toda convergência de esforços em busca de soluções inovadoras tem gerado o surgimento de várias abordagens e visões da IoT.

De acordo com Atzori (2011) o estado atual da IoT é a convergência de três diferentes visões [5] e que interferem diretamente em seus projetos arquiteturais, são elas: centrada nas coisas, centrada na Internet e centrada nos serviços. Na visão centrada nas coisas um objeto pode ser rastreado no espaço e no tempo ao longo da sua vida e que seja identificável unicamente [6]. Na visão centrada na Internet o principal foco é colocar o Protocolo IP sobre “qualquer coisa”, ou seja, a IoT será implantada por meio de uma espécie de simplificação do IP atual para adaptá-lo a qualquer objeto e fazer esses objetos endereçáveis e acessíveis a partir de qualquer local [7][8][9]. Por fim, a visão centrada na semântica, também conhecida como *Web of Things*, preocupa-se com a representação, armazenamento, pesquisa e organização das informações geradas pelas coisas na IoT [10].

Dessa forma, é possível afirmar que as arquiteturas para IoT dependem diretamente dos serviços que serão prestados aos usuários e as exigências e necessidades dos interessados (*stakeholders*) nestes serviços. Ou seja, comumente, as arquiteturas para IoT refletem uma das três ou mais visões citadas e concentram-se em contemplar suas principais funcionalidades.

Nesse sentido, o presente artigo apresenta uma abordagem para concepção de arquitetura para IoT de forma adaptativa. A partir dos requisitos levantados pelos *stakeholders* é apresentada uma abordagem adaptativa para mapear uma arquitetura em camadas de IoT. O resultado obtido foi um autômato adaptativo que guia a obtenção da arquitetura. Além disso, a arquitetura adaptativa é capaz de atender as necessidades e interesses dos *stakeholders*. Ou seja, uma arquitetura capaz de modificar seu próprio comportamento como resposta aos dados de entrada, sem a interferência de agentes externos [14].

Para melhor compreensão deste artigo a seção 2 apresentará as principais arquiteturas de IoT existentes atualmente. Em seguida, o método para obtenção da arquitetura adaptativa para IoT será apresentada na seção 3. Os trabalhos relacionados a arquiteturas IoT, bem como adaptatividade em arquiteturas serão discutidos na seção 4. Por fim, na seção 5 são sumarizadas as conclusões e os trabalhos futuros.

II. ARQUITETURAS DE INTERNET DAS COISAS

Segundo o Cluster Europeu de Pesquisa sobre Internet das Coisas (*European Research Cluster on the Internet of Things* – IERC) a IoT é uma infraestrutura de rede global dinâmica, com capacidade de autoconfiguração com base em protocolos de comunicação padrão e interoperável onde “coisas” físicas e virtuais têm identidade, atributos físicos, personalidades virtuais, usam interfaces inteligentes e são perfeitamente integradas em uma rede de informação [2].

Em diversos cenários de aplicação da IoT, as principais tecnologias que estão tornando esta revolução possível é conhecida como Identificação por Radiofrequência (*Radio Frequency Identification* – RFID) e Redes de Sensores Sem Fio (*Wireless Sensors Network* – WSN). No geral, sistemas que usam RFID possuem, essencialmente, etiquetas (*tags*), leitores, aplicações de software, hardwares e middlewares [3]. Por outro lado, uma Rede de Sensores Sem Fio possui um grande número de sensores em atuação em uma área delimitada, sendo que a principal utilidade destes é captar informações do ambiente em que estão inseridos e comunicar-se entre si [4].

L. B. Campos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Vitória da Conquista, Bahia, Brasil, leonardobcampos@ifba.edu.br

C. E. Cugnasca, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, São Paulo, Brasil, carlos.cugnasca@gmail.com

Devido a abrangência deste novo paradigma e a busca de soluções ideais sem a devida padronização inúmeras visões de Arquiteturas para IoT estão sendo apresentadas. Entre as principais visões encontradas na literatura destacam-se as seguintes:

- 1) Centrada nas Coisas: visão amplamente utilizada atualmente que envolve o rastreamento de objetos através de tecnologias como RFID, WSN, *Near Field Communication* (NFC).
- 2) Centrada nos Dados: visão focada na coleção e processamento de dados em tempo real. Bem como extrair informações úteis a partir de grandes volumes de dados (Big Data) [11].
- 3) Centrada na Internet: corresponde a construção de protocolos IP para permitir que objetos inteligentes conectem-se à Internet.
- 4) Centrada na Nuvem: pode ser vista como a união entre a visão centrada nas coisas e a visão centrada na Internet. O objetivo final é ter objetos inteligentes *Plug in Play* (PnP) que podem ser implantados em qualquer ambiente com um *backbone* interoperável que permite interagir com outros objetos inteligentes os eu redor [12].
- 5) Centrada nos Serviços: conhecimentos e serviços são definidos e formulados utilizando modelos de ontologias tornando as redes de grande escala mais cognitiva e viável [13].
- 6) Centrado na Semântica: aborda as questões de gerenciamento de dados que surgem no contexto das grandes quantidades de informação que se troca por objetos inteligentes, e os recursos que estão disponíveis através da interface web.
- 7) Centrada no Usuário: o usuário é colocado no centro e permitir que ele use o conhecimento e a infraestrutura para desenvolver novas aplicações.

Devido a relação entre as visões e seus conceitos, este trabalho agrupa as sete visões apresentadas em três, de acordo com [5], são elas: centrada nas coisas, na Internet e nos serviços. Acreditamos que a visão centrada na Internet pode agregar as visões centradas nos dados e na nuvem. Por outro lado a visão centrada nos serviços contempla as visões centradas na semântica e no usuário. Entretanto, reconhecemos a existência de particularidades e diferenças entre todas as visões.

III. AIoTA: ADAPTIVE INTERNET OF THINGS ARCHITECTURE

A Arquitetura Adaptativa para Internet das Coisas (Adaptive Internet of Things Architecture – AIoTA) é baseada em quatro camadas, são elas: Camada Física, Camada de Interconexão, Camada de Dados e Camadas de Serviços, conforme Figura 1.

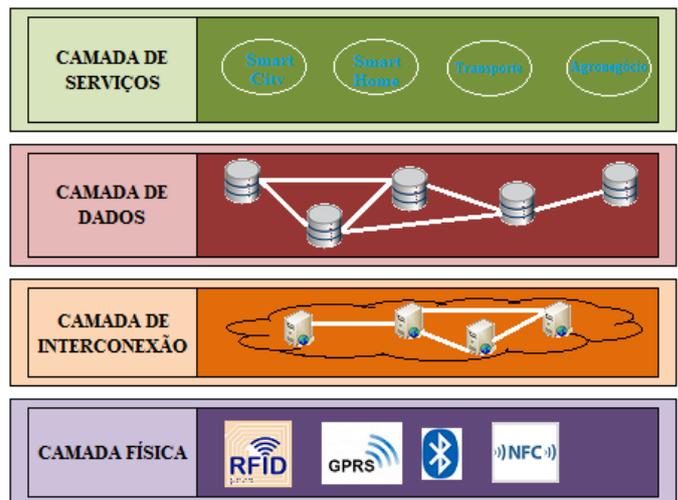


Figura 1. Arquitetura em quatro camadas da IoT

Antes de apresentar o autômato adaptativo que guiará a obtenção da arquitetura adaptativa é descrito nas subseções a seguir definições e detalhes dos módulos contidos em cada uma das camadas.

A. Camada Física

A camada física está focada nos objetos físicos, leitores, sensores, identificadores e atuadores. Na visão centrada nas coisas esta camada comumente recebe maior detalhamento. Os módulos próprios desta camada são:

- ID Único: diante do grande número de coisas (objetos e pessoas) que poderão estar conectado à Internet, na ordem de trilhão, e a possibilidade de rastrear/monitorar cada um deles unicamente, serviço conhecido como rastreabilidade, faz-se necessária a identificação única de cada coisa inserida na IoT;
- Segurança: módulo que assegura a troca confiável de dados entre o leitor e a etiqueta de identificação das coisas;
- Heterogeneidade: módulo responsável em viabilizar a comunicação entre diferentes padrões de comunicação criados para comunicação entre coisas e leitores;
- Smart Object: módulo correspondente às coisas que possuem sensores integrados como sensores de temperatura, umidade, acidez do solo, etc;
- Smart Tags: módulo responsável por coordenar a comunicação entre coisas, para tanto, as etiquetas devem ser inteligentes e possibilitar comunicação de coisas entre si;
- Rastreamento: módulo utilizado por coisas que possibilitem ser localizadas em qualquer lugar a qualquer momento. Módulo comumente associado a tecnologias como geoposicionamento e georeferenciamento.
- Sensor Network: módulo responsável pela integração da comunicação entre *tags* e redes de sensores sem fio.

B. Camada de Interconexão

Na camada de interconexão o foco é possibilitar a integração de Intranets das Coisas. Entende-se por Intranets das Coisas redes confinadas com serviços/aplicações próprias de IoT, que faltam apenas a integração com as demais redes com serviços/aplicações IoT. Esta camada é explorada em visões de IoT centrada na Internet e na nuvem. Veja a seguir detalhes dos módulos previsto na arquitetura adaptativa:

- Conectividade: módulo que possibilita a conexão de redes confinadas com a IoT;
- Interoperabilidade: módulo responsável pela integração de diferentes bases de dados, padrões de comunicação entre sistemas, qualidade de dados armazenados, etc;
- Escalabilidade: módulo que permite a conexão de um número crescente de coisas à rede.

C. Camada de Dados

A camada de dados é responsável pelo armazenamento e conversão de dados em informação e inteligência. Estão previsto três módulos principais, são ele:

- Rastreabilidade: esse módulo é responsável por registrar os dados de temperatura, responsável, localização, etc associado ao produto em cada etapa do processo produtivo, por exemplo. Registrar corretamente os dados nessa etapa influenciará diretamente na certificação das coisas;
- Banco de Dados: o banco de dados caracteriza-se pela elevada massa de dados a ser armazenada. Nesse sentido, este módulo prevê um sistema de data warehouse e data mining para facilitar a geração de relatórios gerenciais e agrupar os dados relevantes para diferentes consultas;
- Processamento Inteligente: módulo destinado transformar as informações armazenadas nas bases de dados em inteligência e facilitar a tomada de decisões (*Business Intelligence – BI*).

D. Camada de Serviços

A camada de serviços é a mais próxima aos clientes de serviços da IoT. Esta camada é responsável em gerenciar os dados processados na camada de dados. Os serviços prestados podem ser voltados para casa inteligente, cidades inteligentes, transporte inteligente, etc. As cinco camadas presentes nesta camada são:

- Web service: módulo responsável pela disponibilização dos serviços na Web;
- Cloud computing: módulo que especifica os serviços correspondentes ao armazenamento e processamento de informações na nuvem;
- Usabilidade: requisito de qualidade contemplado neste módulo para permitir fácil acesso aos serviços disponíveis;
- Portabilidade: módulo responsável pela adaptação de conteúdos nos mais diversos aparelhos de acesso a Internet;
- Eficiência: módulo responsável pelo desempenho dos serviços;

Ainda nesta camada é possível prevê serviços como autenticação e certificação de usuários na rede. O módulo de autenticação é usado para autorizar o acesso aos dados e

serviços disponível. O módulo de certificação é capaz de fornecer em tempo real mensagens certificadoras dos processos consultados.

E. Adaptatividade da Arquitetura IoT

A adaptatividade proposta neste trabalho para a arquitetura de IoT inicia-se com o levantamento dos requisitos, veja Tabela I. Em seguida, faz necessária a definição da relevância destes requisitos em quatro níveis: Alta, Média, Baixa e Não se Aplica (NA).

TABELA I
REQUISITOS DA ARQUITETURA PARA PREENCHIMENTO DA SUA RELEVÂNCIA

REQUISITO	DETALHAMENTO	RELEVÂNCIA			
		A	M	B	NA
Q ₀	LER OBJETOS/COISAS E/OU AMBIENTE DE FORMA UBÍQUA	X			
Q ₁	IDENTIFICAR UNICAMENTE CADA OBJETO/COISA	X			
Q ₂	MONITORAMENTO DO AMBIENTE ATRAVÉS DE SENSORES			X	
Q ₃	OBJETOS INTELIGENTES CAPAZES DE MONITORAR ALGUM DADO DO AMBIENTE			X	
Q ₄	OBJETOS COMUNICANDO ENTRE SI SEM GETWAY	X			
Q ₅	OBJETOS RASTREÁVEIS TODO O TEMPO	X			
Q ₆	SUPORTE A DIFERENTES TECNOLOGIAS DE LEITORES			X	
Q ₇	TROCA DE DADOS SEGURA ENTRE LEITORES, ETIQUETAS E SENSORES			X	
Q ₈	INTERCONEXÃO DE OBJETOS/COISAS E/OU SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ATRAVÉS DA INTERNET	X			
Q ₉	TROCA DE DADOS ENTRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO DE DIFERENTES PARCEIROS	X			
Q ₁₀	QUANTIDADE CRESCENTE DE OBJETOS MONITORADOS	X			
Q ₁₁	ARMAZENAMENTO PERSISTENTE DE DADOS RELACIONADOS AOS OBJETOS/COISAS E/OU AMBIENTE	X			
Q ₁₂	RECUPERAÇÃO DE TODO O HISTÓRICO DE INFORMAÇÕES			X	
Q ₁₃	UTILIZAÇÃO DE DADOS ARMAZENADOS PARA TOMADA DE DECISÕES ASSOCIADAS AO OBJETO	X			
Q ₁₄	SERVIÇOS PRESTADOS AOS <i>STAKEHOLDERS</i> PARTICIPANTES DO MODELO DE NEGÓCIOS	X			
Q ₁₅	INTERFACES DO SISTEMA DE FÁCIL USO	X			
Q ₁₆	ALTO DESEMPENHO PARA CONSULTAS E SERVIÇOS			X	
Q ₁₇	SERVIÇOS ACESSÍVEIS A QUALQUER DISPOSITIVO CONECTADO A INTERNET			X	

Para determinar a arquitetura de IoT é apresentado um autômato adaptativo (AA), veja Figura 2, cujos estados representam os requisitos apresentados na Tabela 1. Caso o requisito tenha sido classificado com alta ou média relevância para a arquitetura, a transição assume o valor 1 (verdadeiro), caso contrário, caso tenha sido classificado com pequena ou não se aplica, assumirá 0 (falso). A topologia inicial deste AA é apresentado na Figura 3.

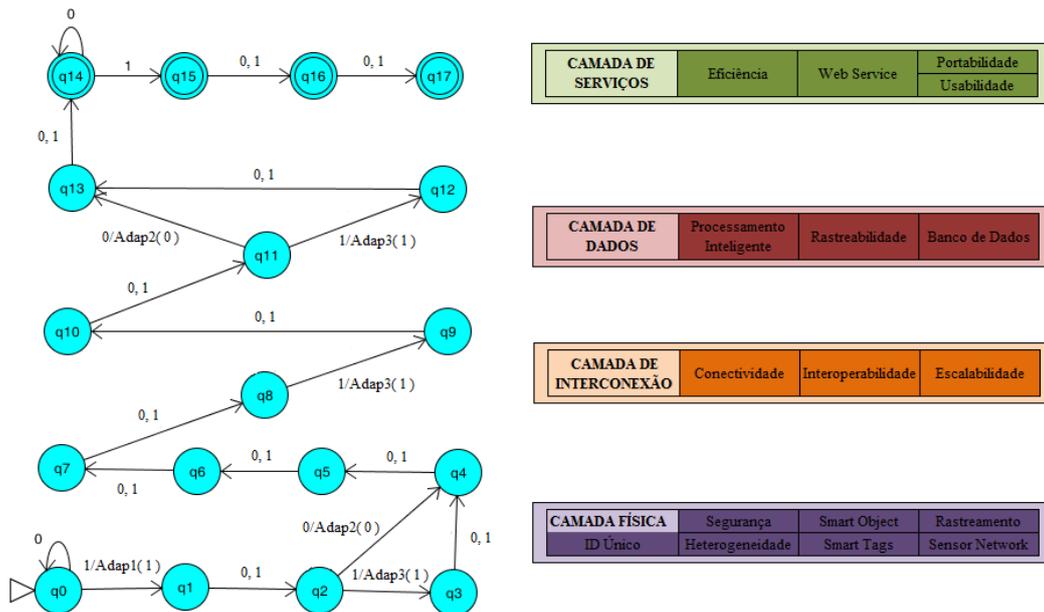


Figura 2. Mapeamento dos requisitos em uma arquitetura em camadas para IoT

Em q_0 o autômato busca garantir a leitura de objetos e/ou monitoramento de ambientes de forma ubíqua. Portanto, a primeira ação adaptativa do AA só será executada com a garantia de que o requisito q_0 será incorporado na arquitetura.

- Adap1(1): (1)
 $f, g^* \{$ (2)
 $- [(f, 1) \rightarrow q_0, Adap1(1)]$ (3)
 $+ [(f, 1) \rightarrow q_1]$ (4)
 $+ [(g, 0) \rightarrow q_2]$ (5)
 $+ [(g, 1) \rightarrow q_2]$ (6)

A semântica da função adaptativa Adap1 pode ser entendida da seguinte forma:

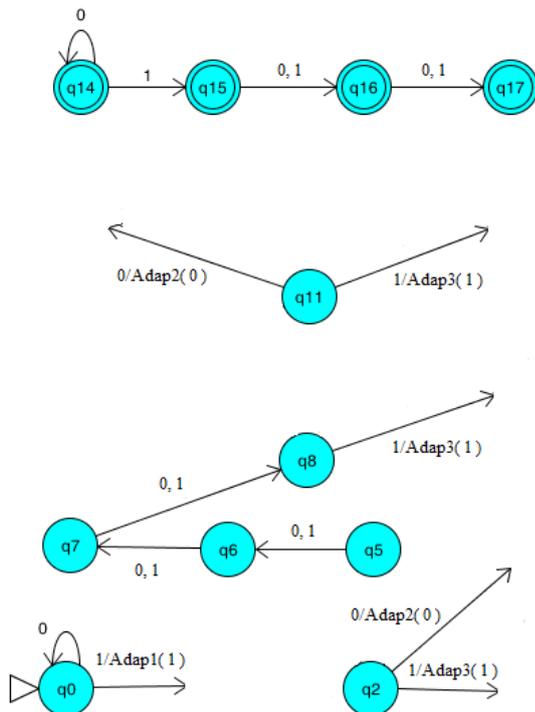


Figura 3. Topologia inicial do autômato adaptativo.

Ao todo o AA possui 3 (três) funções adaptativas, são elas Adap1, Adap2 e Adap3. A função Adap1 adapta funcionalidades da camada física. Ao ser executada é criado um novo estado q_1 correspondente ao requisito Q_1 . A função Adap1 pode ser representada, em notação algébrica, como:

- Linha (1): O cabeçalho especifica o nome da função (Adap1) e o valor da sua transição que ativa a função;
- Linha (2): f é uma variável local, cujo valor é definido durante a execução de Adap1, neste caso, f valerá q_0 . Enquanto g é o nome de um gerador, que fornecerá a cada vez que a função A for executada, diferentes nomes para um novo estado a ser criado;
- Linha (3): Elimina-se a transição que parte do estado q_0 e chega no próprio estado q_0 , consumindo o símbolo 1;
- Linha (4): Adiciona-se uma transição que chega ao estado q_1 após consumir o símbolo 1;
- Linha (5): Adiciona-se uma transição consumindo o símbolo 0, partindo do estado q_1 e tendo como destino q_2 ;
- Linha (6): Adiciona-se uma transição consumindo o símbolo 1, partindo do estado q_1 e tendo como destino q_2 ;

A função Adap2 é responsável por consumir o símbolo 1 e criar um novo estado e duas transições (0 e 1) partindo deste novo estado. Por fim, a função Adap3 executa função semelhante a Adap2, entretanto, consumindo o símbolo 0.

IV. TRABALHOS RELACIONADOS

Apesar das diversas aplicações dos conceitos de adaptatividade o número de trabalhos que aplicam esta técnica em arquiteturas é pequeno. Em [17] é apresentado uma abordagem para desenvolvimento formal de especificações globais para programas dinamicamente adaptativos. São usadas máquinas de estados finitos para descrever formalmente o modelo proposto. Em [18] adaptatividade é usada para elevar capacidade de dispositivos heterogêneos comunicarem de modo a fazer o melhor da limitada disponibilidade de espectro e lidar com competição que é inevitável à medida que mais objetos conectarem ao sistema. O trabalho apresenta ainda um modelo conceitual que facilita a identificação de oportunidades para a adaptatividade, em cada camada da pilha de rede. Nesse mesmo sentido de [19] lista os fatores fundamentais que afetam a sua escalabilidade da Internet, e apresentam uma arquitetura adaptativa em direção do desenvolvimento potencial para o futuro da Internet, além disso, discute a adaptação dos seguintes aspectos: capacidade de gerenciamento e a confiabilidade.

V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O trabalho apresentou uma abordagem adaptativa para concepção de arquitetura para IoT. Diante das inúmeras visões existentes na literatura para IoT as arquiteturas tendem a concentrar seus módulos em camadas dirigidas por essas visões privilegiando alguns serviços em detrimento de outros. Como trabalhos futuros espera-se alcançar uma arquitetura adaptativa que contemple os requisitos de qualidade especificados na norma ISO 25000.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro e de motivação fornecida pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), ao Prof. João José Neto pelas orientações que contribuíram no refinamento do artigo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pesquisa ao primeiro autor (142160/2013-0) e financiamento de projeto de pesquisa (485847/2013-2).

REFERÊNCIAS

- [1] J. Zheng, D. Simplot-Ryl, C. Bisdikian, and H. T. Mouftah, "The internet of things [Guest Editorial]," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 49, pp. 30-31, 2011.
- [2] O. Vermesan, P. Friess, P. Guillemin, S. Gusmeroli, H. Sundmaeker, A. Bassi, et al., "Internet of things strategic research roadmap," O. Vermesan, P. Friess, P. Guillemin, S. Gusmeroli, H. Sundmaeker, A. Bassi, et al., *Internet of Things: Global Technological and Societal Trends*, pp. 9-52, 2011.
- [3] A. Cheung, K. Kailing, and S. Schonauer, "Theseos: a query engine for traceability across sovereign, distributed RFID databases," in *Data Engineering, 2007. ICDE 2007. IEEE 23rd International Conference on*, 2007, pp. 1495-1496.
- [4] S. Glisic and J.-P. Makela, "Advanced wireless networks: 4G technologies," in *Spread Spectrum Techniques and Applications, 2006 IEEE Ninth International Symposium on*, 2006, pp. 442-446.
- [5] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, vol. 54, pp. 2787-2805, 2010.
- [6] B. Sterling, L. Wild, and P. Lunenfeld, *Shaping things*: MIT press Cambridge, MA, 2005.
- [7] A. Dunkels and J. Vasseur, "IP for smart objects," *Ipsos alliance white paper*, vol. 1, 2008.
- [8] J. Hui, D. Culler, and S. Chakrabarti, "6LoWPAN: Incorporating IEEE 802.15. 4 into the IP architecture," *IPSO Alliance White Paper*, vol. 3, 2009.
- [9] N. Gershenfeld, R. Krikorian, and D. Cohen, "The Internet of Things- The principles that run the Internet are now creating a new kind of network of everyday devices, an Internet-O.," *Scientific American*, vol. 291, pp. 46-51, 2004.
- [10] I. Toma, E. Simperl, and G. Hench, "A joint roadmap for semantic technologies and the internet of things," in *Proceedings of the 3rd STI Roadmapping Workshop*, 2009.
- [11] C. C. Aggarwal, N. Ashish, and A. Sheth, "The Internet of Things: A Survey from the Data-Centric Perspective," in *Managing and Mining Sensor Data*, ed: Springer, 2013, pp. 383-428.
- [12] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, 2013.
- [13] Y. Wang, P. Zeng, X. Wang, Y. Zhang, F. Kuang, and B. Zhu, "Information-centric Industrial Internet of Things: Service Model."
- [14] J. J. Neto, "Um Levantamento da Evolução da Adaptatividade e da Tecnologia Adaptativa", *Revista IEEE América Latina*, vol. 5, (7), pp. 496-505, Nov. 2007.
- [15] M. Presser, "Inspiring the Internet of Things," *Alexandra Institute*, 2011.
- [16] Gartner's 2013 Hype Cycle for Emerging Technologies < <http://www.gartner.com/newsroom/id/2575515>>
- [17] Y. Zhao, Z. Li, H. Shen, and D. Ma, "Development of global specification for dynamically adaptive software," *Computing*, pp. 1-32, 2013.
- [18] P. Du and G. Roussos, "Adaptive Communication Techniques for the Internet of Things," *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 2, pp. 122-155, 2013.
- [19] L. Chuang, J. Zixiao, and M. Kun, "Research on adaptive future Internet architecture," *Chinese Journal of Computers*, vol. 35, pp. 1077-1092, 2012.



Leonardo Barreto Campos nascido em Vitória da Conquista, Bahia, Brasil, graduou-se em Ciência da Computação na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (2005), Mestre pela Universidade Federal de São Carlos (2007) onde iniciou sua pesquisa em Identificação por Radiofrequência (RFID) e em 2013 iniciou o doutorado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) no Laboratório de Automação Agrícola (LAA). Atualmente é professor adjunto do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia atuando nos seguintes temas: Internet das Coisas, Identificação por Radiofrequência, Redes de Sensores, Arquitetura de Software e Computação Pervasiva.



Carlos Eduardo Cugnasca é graduado em Engenharia de Eletricidade (1980), mestre em Engenharia Elétrica (1988) e doutor em Engenharia Elétrica (1993). É livre-docente (2002) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Atualmente, é professor associado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e pesquisador do LAA – Laboratório de Automação Agrícola do PCS – Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da EPUSP. Tem experiência na área de Supervisão e Controle de Processos e Instrumentação, aplicadas a processos agrícolas e Agricultura de Precisão, atuando principalmente nos seguintes temas: instrumentação inteligente, sistemas embarcados em máquinas agrícolas, monitoração e controle de ambientes protegidos, redes de controle baseados nos padrões CAN, ISO11783 e LonWorks, Redes de Sensores Sem Fio e computação pervasiva. É editor da Revista Brasileira de Agroinformática (RBIAGro).