

# PROPOSTA DE UM MEDIDOR DE CONSUMO UTILIZANDO TECNOLOGIA DE INTERNET DAS COISAS

Vitor Hugo P. Cardoso, Renato F. Fernandes, Marcelo Barros de Almeida, Marcio José da Cunha  
Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG,  
rffernandes@eletrica.ufu.br

**Resumo** – O conceito de Internet das Coisas (IoT) consiste em prover comunicação e troca de informação entre diferentes dispositivos eletrônicos. Este trabalho apresenta os conceitos da Internet das Coisas aplicados no projeto de um dispositivo para medição de consumo de energia elétrica.

**Palavras-Chave** – Redes de sensores sem fio, Internet das coisas, medidor de consumo.

**Abstract** - The concept of Internet of Things (IoT) consists on providing communication and exchange of information among different electronic devices. This article presents the Internet of Things concept applied in a design project for a device to check energy measurement.

**Keywords** –Wireless Sensor Network, Internet of Things, Energy Measurement.

## I. INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas ou IoT (*Internet of Things*) é composta por inúmeros equipamentos sensores e atuadores que monitoram e interagem com o ambiente. A proposta da IoT viabiliza aplicações em diferentes cenários como aplicações urbanas na área de saúde, transporte, monitoramento de tráfego e urbano, agronegócios, automação residencial, predial, industrial, entre outras [1].

Uma rede IoT é formada basicamente por nós sensores que são limitados em termos de energia, memória e processamento computacional. Em aplicações em redes urbanas, as tecnologias de redes de IoT dependem do cenário e dos requerimentos da aplicação como confiabilidade, taxa de entrega, segurança, consumo. Como o meio físico geralmente é o ambiente sem fio, o acesso e o uso do recurso precisa ser controlado de forma a minimizar ao máximo as perdas [2].

As tecnologias de redes de sensores sem fio estão baseadas no padrão IEEE802.15.4 e vários trabalhos têm sido propostos para atender os requisitos do padrão IoT. Para as camadas superiores, instituições como ISA (Sociedade Internacional de Automação) e o IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional) e o IETF (Internet Engineering

Task Force) trabalham em protocolos para atender aos diferentes cenários. Para as aplicações da IoT, o IETF tem conduzido os principais esforços na padronização da rede como o 6LoWPAN, RPL e CoAP. O grupo OpenWSN da universidade de Berkeley desenvolveu uma plataforma para prover um ambiente aberto de implementação seguindo padrões atuais para uma solução completa de IoT com o objetivo principal de mostrar a viabilidade de soluções de internet das coisas em diferentes cenários [3][4].

No contexto de energia, atualmente é um aspecto muito importante devido à dependência cada vez maior da sociedade, e é um assunto primordial para os governos do mundo toda a gestão da energia consumida. A monitoração da energia, seja ela local, através da medição residencial ou predial, ou seja, ela remota, através de grandes centros, no monitoramento de bairros e cidades é atualmente um grande tema de estudo.

Desta forma, este trabalho visa contribuir com uma arquitetura de IoT para medição inteligente de consumo de energia elétrica. Para isso este trabalho está dividido da seguinte forma: No capítulo 2 são apresentados os principais componentes de uma rede de IoT e as tecnologias envolvidas nas redes de sensores sem fio. No capítulo 3 são apresentadas as formas de medição de consumo existentes atualmente. No capítulo 4 é detalhado o projeto do medidor de consumo proposto neste trabalho. No capítulo 5 são mostrados os resultados obtidos com o trabalho atual, e por fim no capítulo 6 é realizada a conclusão.

## II. ARQUITETURA DE UMA REDE IOT

A arquitetura de um sistema de IoT envolve muitos fatores como comunicação, segurança, processos, necessidade de interagir com qualquer outro elemento do sistema que pode estar geograficamente distante, e pode ter seu estado alterado dinamicamente na rede. Para atender estes vários fatores, a rede IoT é orientada a eventos (SOA).

A arquitetura SOA divide um sistema complexo em objetos menores e bem definidos, que permite atender a requisitos de escalabilidade, modularidade e interoperabilidade [1]. Baseado neste conceito de SOA as redes IoT podem ser divididas em quatro níveis principais: sensores, rede, serviços e interface. A figura 2 mostra um exemplo desta arquitetura [5].



XIII CEEL - ISSN 2178-8308  
12 a 16 de Outubro de 2015  
Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

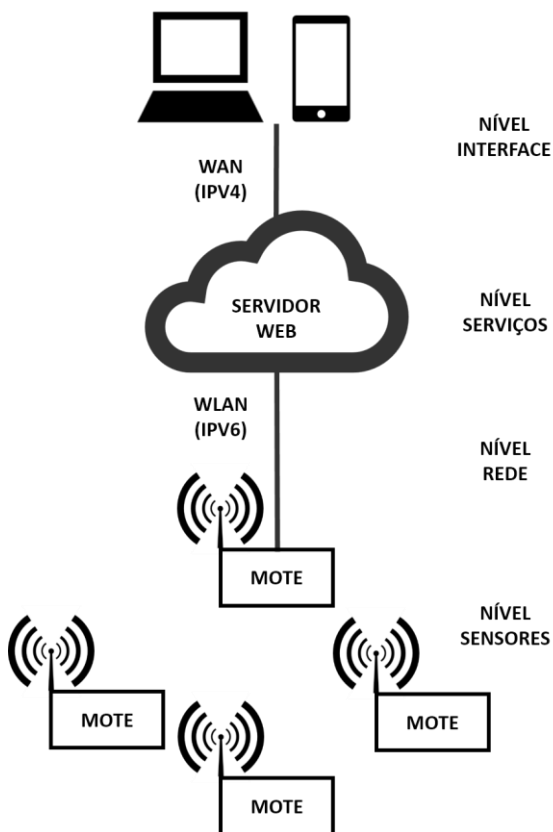


Figura 1. Arquitetura de uma rede IoT

No primeiro nível da rede IoT está a rede de sensores onde os equipamentos, que tem uma identificação única, coletam informações dos sensores e enviam para a rede. A rede de sensores geralmente é formada de equipamentos considerados WPAN que são limitados em termos de energia, memória e computação. Exemplos são equipamentos inteligentes, Tags de RFID, de sensores e atuadores de processos como temperatura, pressão, vazão, corrente e tensão [1].

O nível da rede é constituído das tecnologias que servem de ponte entre as diversas redes de sensores e que permitirão a integração destas aplicações. As tecnologias de redes envolvidas geralmente são redes WLAN e LAN, que são empregadas na comunicação entre os gateways da rede e são baseadas no padrão IEEE 802.11, e tecnologias de celular como GPRS e 3GPP, que disponibilizam dados para a internet [6].

No nível de serviços as tecnologias de middleware habilitam os serviços e aplicações em IoT. Este middleware é formado por todos os serviços de troca de informação e armazenamento de dados, gerenciamento de dados e serviços de busca [1].

Por fim, o nível de interface está relacionado com a aplicação. Neste contexto, como a IoT está relacionada com diferentes tecnologias de diferentes tipos de equipamentos, a interface provê um mecanismo de interconexão e gerenciado da comunicação entre estes equipamentos de forma simplificada e padronizada [5].

Dentro destes vários níveis de comunicação devem existir protocolos padrões de forma a facilitar a interconexão entre

os módulos e os equipamentos de forma padronizada. Vários esforços de grupos como IEEE e IETF foram feitos para criar padrões nos diferentes níveis de comunicação da IoT [4].

Com relação aos protocolos utilizados em IoT, e mais especificamente para rede de sensores sem fio (WSN) podem ser vistos na tabela 1. Alguns destes protocolos são bem definidos e largamente utilizados. Outros ainda possuem deficiências, e alguns ainda estão na fase de definição [4].

Tabela 1 – Protocolos de uma rede IoT típica

Camada	Protocolo
Aplicação	HTTP/CoAP
Transporte	UDP/TCP
Rede	IPv6 / RPL
Adaptação	6LowPAN (RFC4944)
Enlace (MAC)	IEEE802.15.4
Física (PHY)	

Cada uma destas camadas será descrita nas próximas seções.

#### Camada Física

A camada física (PHY) é responsável pela seleção de frequências, geração da frequência da portadora, detecção de sinal, modulação e codificação para transmissão e recepção de dados da rede. A extensão IEEE802.15.4g que trata da camada física em aplicações de longas distâncias inclui a operação nas faixas de 868 Mhz, 915 Mhz e 2.4 Ghz. Apesar de definir diferentes características de meio físico, a grande maioria das aplicações e disponibilidade de soluções de rádio comerciais são em 2.4Ghz com MR-O-QPSK [6].

#### Camada MAC

A camada MAC é a camada que interage diretamente com o rádio. A especificação IEEE802.15.4e [7] define um protocolo MAC com regras para diferentes cenários de uso e também atende os principais casos de cenários urbanos [6].

De acordo com o escalonamento da rede os métodos da camada MAC no padrão IEEE802.15.4e [7] podem ser classificados em modo síncrono e modo assíncrono.

O modo síncrono depende de um sincronismo periódico enviado pelo coordenador que controla o escalonamento da rede. Os métodos sincronizados são derivados do TDMA (Time Division Multiple Access) que é baseado em uma divisão do tempo em slots onde cada comunicação entre dois nós ocupa um slot de tempo. Considerando o slot de tempo e também os diferentes canais é formado uma estrutura chamada de superframe. Baseado neste mecanismo do TDMA vários outros protocolos e melhorias foram propostas como o LMAC, Y-MAC, TSCH, entre outros (Bachir et.al., 2010). O protocolo TSCH foi incorporado à norma IEEE802.15.4e [7], é um protocolo emergente e que tem mostrado aplicabilidade em vários cenários de IoT [4].

A outra forma de comunicação prevista no IEEE802.15.4e (2012) é o modo assíncrono que é independente de sincronismo e cada nó da rede possui seu próprio escalonamento interno. Os mecanismos de comunicação

geralmente permitem os equipamentos operar em um ciclo de trabalho reduzido permitindo assim um baixo consumo de energia. Porém este fato faz com que a latência da rede seja não determinística e também bem maior do que os protocolos síncronos. Também devido ao não sincronismo aumenta a colisão entre os pacotes o que é necessário utilização de mecanismos como o CSMA/CA. [8].

#### *Camada de Adaptação*

A camada de rede é responsável por conseguir encontrar o caminho até o ponto de destino. Em uma rede de Internet das coisas o acesso deve ocorrer através da internet e utilizando-se o protocolo IPv6. Para prover conectividade entre o IPv6 e a rede IEEE802.15.4 o IETF definiu uma subcamada de adaptação do IPv6 para redes WSN chamado 6LoWPAN. O 6LoWPAN é, portanto, uma camada intermediária entre os níveis de IPv6 e IEEE 802.15.4 MAC, onde as informações são comprimidas, suprimindo a informação redundante e somente utilizando as principais informações para compor o cabeçalho do 6LoWPAN [4].

#### *Camada de Rede*

As redes de sensores sem fio são constituídas por equipamentos que tem baixa taxa de dados, com topologia mesh, utilizando salto de frequências, links instáveis, e consequentemente baixas taxas de entrega de pacotes. Para atender a estes requisitos, o IETF propôs uma solução de roteamento para rede WSN chamado RPL (Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks). A proposta do RPL é construir rapidamente as rotas de rede, para distribuir conhecimento de roteamento entre os nós, e para se adaptar a topologia de uma forma muito eficiente (Palattela et.al., 2013). O RPL é baseado em uma abordagem baseada gradiente, onde é construído um grafo acíclico orientado a distância chamado de (DODAG – Destination Orientated Directed Acyclic Graph) usando uma função objetivo determinadas por um conjunto de métricas e restrições. Exemplos de funções objetivos incluem minimização de energia, minimização da latência, ou alcance de restrições [10].

#### *Camada de Transporte e Aplicação*

A camada de transporte é responsável por fornecer confiabilidade na comunicação fim-a-fim através de redes baseadas em IP. Desta forma, para a rede sob o padrão IP, dois mecanismos de transporte são disponíveis: TCP e UDP.

No contexto da camada de aplicação, o grupo do IETF Constrained RESTful Environments (CORE) definiu o protocolo para aplicações limitadas (CoAP - Constrained Application Protocol) que facilmente traduz HTTP para integrar com a web. A base do COAP ao invés de ser o HTTP, é um subconjunto da especificação REST, fazendo com que ele seja interoperável com o HTTP. Basicamente CoAP é um protocolo assíncrono de pergunta/resposta

usando o transporte UDP que utiliza os métodos básicos do RESTful: GET, POST, PUT, RESET [4].

### **III. MEDIDORES DE CONSUMO**

A análise do consumo de energia é feita, na maioria das vezes, com a medição da corrente instantânea de dreno em um dispositivo físico [11][12]. Medidores de consumo são importantes tanto em ambientes industriais quanto residenciais. Nas indústrias, onde predomina o uso de motores elétricos, a medição de consumo ajuda a prever e identificar falhas, planejar manutenções preventivas, identificar queda de rendimento ou desgaste excessivo em equipamentos elétricos. Para ambientes residenciais, medidores de consumo estão tornando-se populares de acordo com a evolução de tecnologias de automação residencial, e o desejo das pessoas em controlar dispositivos eletrônicos visando mais conforto, segurança e economia de energia.

A maneira tradicional para realizar medição de consumo de energia elétrica requer o deslocamento de técnicos até cada ponto de consumo para realizar cada medição. Este método implica em um custo elevado, difícil acesso à informação, e possibilidade de erro humano ao realizar cada medição. Com base neste contexto se destacam tecnologias remotas e automatizadas de medição de consumo que visam simplificar e tornar acessível o monitoramento constante destes dispositivos.

Medidores de energia são formados basicamente por um elemento sensor de corrente, um elemento sensor de tensão, e um dispositivo transdutor responsável por converter dados elétricos em informação que pode ser processada computacionalmente ou interpretada pelos usuários. A diante será descrito de forma mais detalhada a forma como este projeto se propõe a realizar a medição das variáveis elétrica e a forma como esta informação se torna acessível aos usuários.

### **IV. PROPOSTA DO MEDIDOR IOT**

Esta seção mostra detalhes da arquitetura do sistema proposto e as metodologias de validação. Como o projeto está em uma primeira fase de desenvolvimento, optou-se por usar dispositivos comerciais já existentes para validar a arquitetura. Em uma segunda fase do projeto pretende-se expandir o sistema.

A proposta do analisador de consumo tem como objetivo realizar a medição de energia elétrica realizando a coleta de informações, como corrente e tensão, de aparelhos elétricos, e posteriormente, seguindo as normas e padronizações da IoT já citadas, prover o compartilhamento destas informações com os demais dispositivos da rede. A arquitetura é mostrada na figura 2.

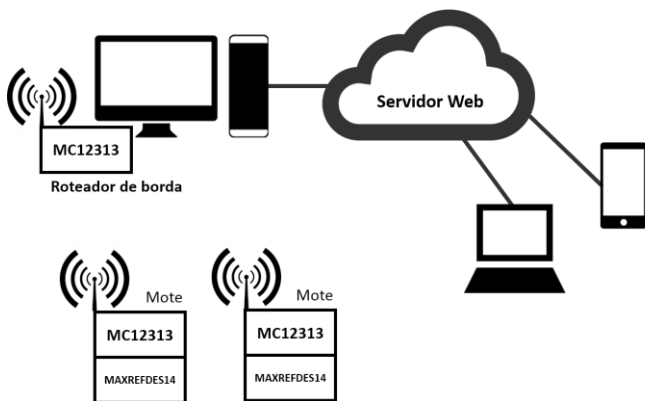


Figura 1 - Arquitetura IoT de medição de consumo

A arquitetura do sistema é constituída de quatro componentes principais, sendo eles o módulo de aquisição de dados, o mote, o roteador de borda e o servidor web que provê a comunicação do sistema com a rede. A seguir serão detalhados cada um destes módulos.

#### Módulo de Aquisição de Dados

A aquisição de dados ocorre através dos sensores presentes em cada mote. Neste projeto está sendo considerada a medição de energia elétrica, e para tal função será utilizado o hardware de potência Maxim Integrated MAXREFDES14, um dispositivo comercial voltado para medição de consumo de dispositivos elétricos que integra um chip MAX78700.

O circuito integrado MAX78700 é composto por um conversor analógico-digital (ADC) isolado com um processador de medição de energia que permite a medição de corrente e tensão. Possui um transformador de pulso que isola dados e potência entre o dispositivo e o sistema de medição, eliminando assim a necessidade de outros dispositivos para isolar os sistemas.

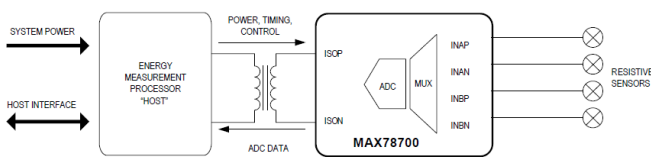


Figura 2 - Placa de aquisição de dados MAXREFDES14

#### Microcontrolador

Cada mote é composto por um microcontrolador e um módulo sensor. Para este projeto foi escolhido o microcontrolador Eldorado MC13213, cujas principais características técnicas serão descritas a seguir.

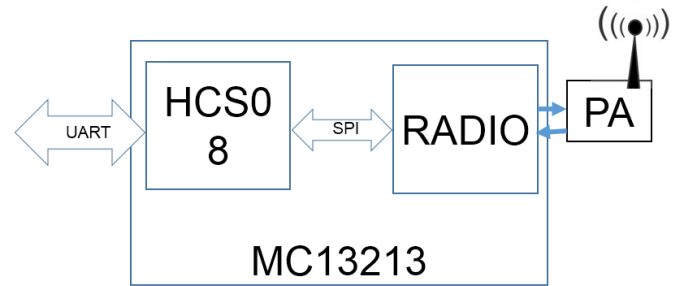


Figura 3 - Microcontrolador Eldorado MC13213

A placa pertence à família HCS08 de 8 bits com clock de 16Mhz, 60KB de memória flash e 4KB de memória RAM. Possui 8 portas GPIO, 1 ADC de 10 bits e 8 canais e 1 SPI conectado a um modem transceptor 802.15.4 operando a uma frequência de 2,4GHz ISM. O transceptor possui ainda 16 canais selecionáveis, amplificador de baixo ruído, potência nominal de saída de 1mW, dentre outras características.

#### Roteador de Borda

O Roteador de Borda consiste em um mote conectado a um computador tem a função de armazenar e tratar as informações obtidas pelos outros motes do sistema. Posteriormente estes dados serão transmitidos ao servidor web, que constitui o próximo nível da arquitetura de IoT. De acordo com os padrões de IoT, o Roteador de Borda deve se conectar via IPV6

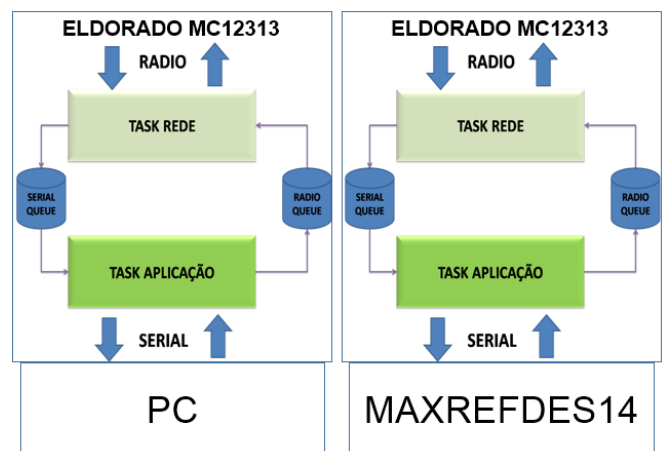


Figura 4- Arquitetura Roteador de Borda e Mote

#### Servidor Web

O servidor web é o dispositivo responsável por prover o compartilhamento dos dados obtidos pelos motes através da internet.

#### Ambiente de desenvolvimento

A programação dos microcontroladores vem sendo desenvolvida com software C/C++ Codewarrior Developer Studio, versão 10.2.

## V. RESULTADOS

Os resultados apresentados neste trabalho ainda são preliminares. É possível apenas fazer uma comunicação simples com o rádio. Neste teste não foi utilizado um mecanismo pleno de Internet das Coisas com rede IP. Neste cenário foi utilizada uma rede Zigbee para comunicação entre o PC, o roteador de borda e dois motes, conforme a figura abaixo.

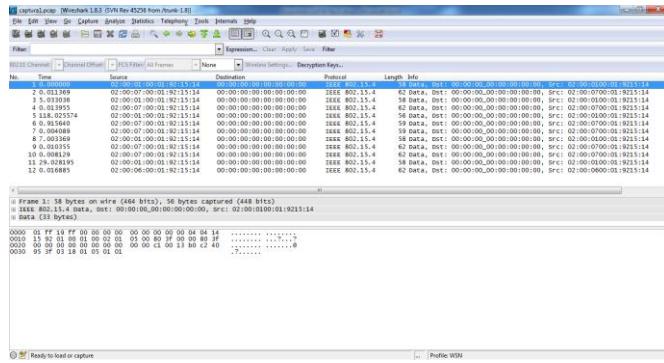


Figura 5 – Resultado de uma captura da rede 802.15.4

A figura 5 mostra a captura de pacotes da rede IEEE802.15.4 utilizando o software Wireshark. Já é possível estabelecer a comunicação sem fio dentro da rede que envolve os motes, porém a comunicação do mote com a placa de aquisição ainda não foi implementada.

## VI. CONCLUSÕES

Este trabalho propôs a utilização dos padrões e protocolos de Internet das Coisas para permitir o acesso às informações, relativas a medição do consumo de energia de dispositivos elétricos. O trabalho está em andamento, porém os requisitos do projeto já foram considerados, e os primeiros testes de comunicação de rede sem fio entre os motes e o roteador de borda já foram realizados, conforme descrito neste artigo. Os próximos passos para concluir a proposta da ferramenta de análise envolvem testes interligando todos os níveis que compõe o medidor.

## REFERÊNCIAS

[1] Zanella, A.; Bui, N.; Castellani, A.; Vangelista, L.; Zorzi, M. (2014) - Internet of Things for Smart Cities, Internet of Things Journal, IEEE, 2014.

[2] Beaudaux, J.; Gallais, A.; Montavont, J.; Noel, T.; Roth, D.; Valentin, E. (2014) - Thorough Empirical Analysis of X-MAC Over a Large Scale Internet of Things Testbed, Sensors Journal, IEEE, Vol. 14, Issue 2, pp 383-392, 2014.

[3] OpenWSN (2015). OpenWSN Protocol Stack. <https://openwsn.atlassian.net/wiki/display/OW/Protocol+Stack>, 2015-01-23.

[4] Palattella, M.R., Accettura, N., Vilajosana, X. Watteyne, T., Grieco, L.A., Boggia, G.; Dohler, M. (2013).

Standardized protocol stack for the internet of (important) things. Communications Surveys Tutorials, IEEE, 15(3):1389–1406, Third 2013.

[5] Li, S., XU, L., Zhao, S. (2015) - The internet of things: a survey, Information Systems Frontiers, volume 17, number, 2, pp 243-259, Springer US, doi 10.1007/s10796-014-9492-7,2015.

[6] Chang, K.H.; Mason, B. (2012) – The IEEE 802.15.4g standard for smart metering utility networks, In Proceeding: Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2012 IEEE Third International Conference on, pp 476-480, 2012.

[7] IEEE802.15.4e (2012) - The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Amendment to iee Std 802.15.4-2011) - part 15.4: Low-rate wireless personal area networks (lr-wpans) - amendment 1: Mac sublayer), <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.4e-2012.html>, 2014-01-23. [9] J. Beaudaux. Wireless sensor networks. Tese da Universidade da Franca, 2013.

[8] Thubert, P., Watteyne, T., Palattella, M.R., Vilajosana, X. Wang, Q. (2013) - IETF 6TSC: Combining IPv6 Connectivity with Industrial Performance. In Proceeding: 2013 Seventh International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing.

[8] Cano, C.; Bellalta, B.; Sfairpoulou, A.; Oliver, M. (2011) - Low energy operation in wsns: A survey of preamble sampling MAC protocols. Computer Networks, 55(15):3351 – 3363, 2011.

[9] Dutta, P.; Haggerty, S.D.; Chen, Y.; Liang, C.J.M., Terzis, A. - A-MAC: A versatile and efficient receiver-initiated link layer for low-power wireless., ACM Trans. Sen. Netw., Vol. 8, Issue 4, Pages 1-29, 2012.

[10] Winter, J. M. – Software De Análise de Roteamento de Dispositivos WirelessHart. 2010. 117 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

[11] Antonopoulos, C., Prayati, A., Stoyanova, T., Koulamas, C. and Papadopoulos, G., (2009). “Experimental Evaluation of a WSN Platform Power Consumption”, IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing (IPDPS).

[12] Casilari, E., Cano-García, J. M., and Campos-Garrido, G., (2010). “Modeling of Current Consumption in 802.15.4/ZigBee Sensor Motes”, Sensors.