

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica

# **EDUARDO MANGUCCI DE OLIVEIRA**

# MONITORAMENTO DE VARIÁVEL INDUSTRIAL ATRAVÉS DE REDE SEM FIO E UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVO MÓVEL

### **EDUARDO MANGUCCI DE OLIVEIRA**

# MONITORAMENTO DE VARIÁVEL INDUSTRIAL ATRAVÉS DE REDE SEM FIO E UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVO MÓVEL

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Inovação Tecnológica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. David Calhau Jorge

UBERABA

# Catalogação na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do Triângulo Mineiro

O46m

Oliveira, Eduardo Mangucci de

Monitoramento de variável industrial através de rede sem fio e utilização de dispositivo móvel / Eduardo Mangucci de Oliveira. -- 2012.

70 f.: il., fig., graf., tab.

Dissertação (Mestrado em Inovação Tecnológica) – Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2012. Orientador: Prof. Dr. David Calhau Jorge

Sistemas de transmissão de dados.
 Sistemas de comunicação sem fio.
 Tecnologia Bluetooth.
 Android (Recurso Eletrônico).
 Automação industrial.
 Jorge David Calhau.
 Universidade Federal do Triângulo Mineiro.
 III.Título.

CDU 621.39

#### EDUARDO MANGUCCI DE OLIVEIRA

# MONITORAMENTO DE VARIÁVEL INDUSTRIAL ATRAVÉS DE REDES SEM FIO E UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVO MÓVEL

Trabalho de conclusão apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como requisito para obtenção do título de mestre.

Uberaba, 21 de dezembro de 2012

Banca Examinadora:

Prof. Dr. David Calhau Jorge Orientador – PMPIT - UFTM

Prof. Dr. Edilberto Pereira Teixeira

Membro titular - Universidade de Uberaba - UNIUBE

Prof. Dr. Luiz Fernando Resende dos Santos Anjo Membro Titular – PMPIT - UFTM

Dedico esta dissertação de mestrado à toda a minha família e aos profissionais da área.

#### **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela sua constante presença durante toda a caminhada, dando forças e iluminado o meu caminho.

Aos meus pais, Sandra Beatriz Mangucci Callegari e João de Oliveira Júnior, por sempre acreditarem no meu potencial, incentivando o meu crescimento e fornecendo todo o apoio que precisei.

Aos meus avós, Neide Aparecida Mangucci e Laércio Mangucci, pelo tempo dedicado à minha formação.

À minha família, que é a minha base de conduta na vida e meu ponto de apoio que sempre me acolhe em todos os momentos.

À Sara Silva Bastos, pelos conselhos, pelo incentivo e pelo apoio que foram decisivos para essa conquista.

Ao Professor David Calhau Jorge pela oportunidade da pesquisa realizada e pelas orientações fornecidas para a concretização deste trabalho.

Aos Professores do Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da UFTM, por terem contribuído com o conhecimento durante essa importante jornada.

Aos funcionários dessa instituição de ensino pela atenção e disponibilidade fornecidas durante todo o curso.

Aos meus amigos, que sempre estão contribuindo com ideias, momentos de descontração e incentivo à caminhada para atingir o sucesso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa de estudos.

#### RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre as redes de sensores sem fio (RSSF), que oferecem um novo paradigma para aquisição de dados de sensores industriais. O objetivo da pesquisa é fazer uma interação com uma RSSF utilizando um dispositivo móvel portátil tais como celulares e *tablets*. Foram realizados estudos da comunicação sem fio e dos protocolos *WirelessHART*, ISA100.11a e ZigBee. Optou-se pela plataforma Android no dispositivo móvel, e a tecnologia *Bluetooth* para comunicação entre o dispositivo móvel portátil e a RSSF. O protótipo desenvolvido neste estudo foi implementado utilizando dois módulos com o protocolo ZigBee, sendo um deles responsável por fazer a leitura de temperatura de um sensor PT-100, e o outro em administrar a RSSF e estabelecer a comunicação com o dispositivo móvel portátil, através de uma conexão *Bluetooth*. Conseguiu-se a interação entre a RSSF e diferentes modelos de dispositivos móveis portáteis, possibilitando o monitoramento de um valor de temperatura. Pode-se então observar a flexibilidade do uso da aplicação com relação aos diferentes tipos de variáveis observadas, ou diferentes *hardwares* utilizando plataformas móveis.

**Palavras-chave:** Android (Recurso Eletrônico), Automação industrial, Sistemas de comunicação sem fio, Sistemas de transmissão de dados, Tecnologia Bluetooth.

#### **ABSTRACT**

This paper presents a study about wireless sensor networks (WSN), which offer a new paradigm for data acquisition of industrial sensors. The aim of the research is to make an interaction with a WSN utilizing a mobile device such as cell phones and tablets. Studies about wireless communication protocols and WirelessHART, ISA100.11a and Zigbee were conducted. The researcher opted for an Android platform on the mobile device, and the Bluetooth technology for the communication between the mobile device and WSN. The prototype presented in this study was implemented utilizing two modules with the ZigBee protocol: being one of them responsible for making the temperature reading of the PT-100 sensor, and the other one was responsible for administrating the WSN and establishing communication with the mobile device through a Bluetooth connection. The interaction between WSN and different models of mobile devices was managed, enabling the monitoring of a temperature value. It was possible to observe the flexibility of usage of the application in relation to different types of observed variables or different hardware utilizing mobile platforms.

**Keywords:** Android (Electronic resource), Industrial Automation, Wireless communication systems, Data transmission systems, Bluetooth technology.

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	2
1.2	ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2	REDE SEM FIO NO ÂMBITO INDUSTRIAL	4
2.1	PROTOCOLO WIRELESSHART	6
2.2	PROTOCOLO ISA100.11a	8
2.3	PROTOCOLO ZIGBEE	9
3	EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS DISPONÍVEIS NA ATUALIDADE	14
3.1	XBee PRO S2B	14
3.2	Placa adaptadora XBee	20
3.3	Software X-CTU	21
3.4	Módulo Bluetooth JY-MCU v1.2	22
3.5	Plataforma Android para dispositivos móveis	24
4	MÉTODO DE COMUNICAÇÃO ENTRE OS DISPOSITIVOS ZIGBEE	26
5	METODOLOGIA APLICADA	32
6	PROTÓTIPO DE TELEMETRIA UTILIZANDO DISPOSITIVO MÓVEL	49
7	CONCLUSÃO	54
8	TRABALHOS FUTUROS	56
RFF	FRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

# **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Classes usadas na ISA100a	9
Tabela 2 - Comparação das especificações do <i>ZigBee</i>	12
Tabela 3 - Características das camadas dos protocolos <i>ZigBee</i> , <i>V</i>	VirelessHART e
ISA100.11a	13
Tabela 4 - Funções dos Pinos <i>XBee</i>	14
Tabela 5 - Parâmetros de fábrica para comunicação serial com o mód	ulo <i>ZigBee</i> 15
Tabela 6 - Descrição dos parâmetros para o módulo <i>XBee</i> como dispo	ositivo final16
Tabela 7 - Parâmetros para o módulo <i>ZigB</i> ee como coordenador	18
Tabela 8 - Configuração de fábrica do módulo <i>Bluetooth</i>	23
Tabela 9 - Versão do sistema dos dispositivos Android que acessa	aram o Google
Play num período de 14 dias, finalizado em 1º de outubro de 2012	25
Tabela 10 - Nome e valores do pacote API	27
Tabela 11 - Comando AT para descobrir os nós na rede	28
Tabela 12 - Parâmetros para o módulo <i>XBee</i> como dispositivo final	36
Tabela 13 - Parâmetros para o módulo XBee como coordenador	36
Tabela 14 - Relação de algumas temperaturas pelo valor de resistê	ncia do sensor
PT-100	46

# **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Arquitetura protocolo IEEE 802.15.45
Figura 2 - Comparação dos canais de comunicação entre o padrão IEEE 802.11b/g
e o WirelessHART6
Figura 3 - Exemplo de sequência de salto de frequência7
Figura 4 - Roteamento em uma rede ISA100.11a8
Figura 5 - Topologias da rede <i>ZigBee</i> 11
Figura 6 - Disposição dos pinos do módulo ZigBee
Figura 7 - Adaptador XBEE/USB21
Figura 8 - Tela do software X-CTU22
Figura 9 - Módulo <i>Bluetooth</i>
Figura 10 - Arquitetura do sistema operacional Android25
Figura 11 - Formato dos quadros de dados dos módulos ZigBee (API)26
Figura 12 - Primeira parte da resposta do comando ND (Coordenador)29
Figura 13 - Segunda parte da resposta do comando ND (Dispositivo Final)30
Figura 14 - Comando para efetuar a leitura da entrada analógica do dispositivo
remoto31
Figura 15 - Resposta da requisição da leitura da entrada analógica31
Figura 16 - Módulo XBee Pro Série 2 utilizado do projeto32
Figura 17 - Porta de comunicação serial do ZigBee33
Figura 18 - Teste de comunicação serial entre o computador e o módulo ZigBee34
Figura 19 - Tela do software configurador do ZigBee, X-CTU35
Figura 20 - Circuito dispositivo final sendo alimentado por energia solar37
Figura 21 - Esquema de ligação entre o módulo <i>Bluetooth</i> e o computador38
Figura 22 - Tela do software PuTTY para configuração do módulo Bluetooth39
Figura 23 - Tela de resposta dos comandos40
Figura 24 - Gerenciador de instalação/atualização de pacotes de desenvolvimento.
41
Figura 25 - Software Eclipse, ambiente de programação para Android42
Figura 26 - Fluxograma de operação do aplicativo44
Figura 27 - Tela para seleção do dispositivo para depuração45
Figura 28 - Gráfico com linha de tendência linear do valor transmitido pelo XBee pela
temperatura em graus Celsius47

Figura 29 - Circuito do protótipo utilizado	48
Figura 30 - Circuito placa de interface Bluetooth e XBee Coordenador	49
Figura 31 - Módulo de comunicação entre o dispositivo móvel e a R	SSF
(Coordenador)	50
Figura 32 - Circuito de leitura do PT100 e transmissão	51
Figura 33 - Circuito de medição da temperatura utilizando o PT-100	51
Figura 34 - Tela do aplicativo em um smartphone com Android 2.3.4	52
Figura 35 - Tela do aplicativo em um tablet com Adroid 4.0.3	53

#### LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACK Acknowledgement

AES Advanced Encryption System

AF Application Framework

API Application Programming Interface

APO Application Objects

APS Application Support Sub Layer

CCA Clear Channel Assessment

CSMA/CA Carrier Sense Multiple Acess with Collission Avoidance

DL Data Link

DSSS Direct Sequence Spread Spectrum

FFD Full Function Device

GTS Guaranteed Time Slot

IEEE Institute of Electrical and Eletronics Engineers

ISA International Society of Automation

ISM Industrial, Scientific and Medical

LED Light-emitting Diode

MAC Media Access Control

ND Node Discover

O-QPSK Offset-Quadrature Phase Shift Keying

OSI Open System Interconnection

PDA Personal Digital Assistants

PPDUs Unidades de Dados do Protocolo

RFD Reduced Function Device

RSSF Rede de Sensor Sem Fio

SAP Serviço de Ponto de Acesso

TL Trasport Layer

UART Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

USB Universal Serial Bus

VCC Volts de Corrente Contínua

WPAN Wireless Personal Area Network

ZDO ZigBee Device Object

## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia sem fio vem tornando as nossas vidas mais práticas. A maioria das pessoas possui telefones celulares, comunicando-se de qualquer lugar. Além disso, a criação de novas áreas de redes locais amplia a possibilita de conexão de um *Personal Digital Assistants* (PDA), *palmtop*, na Internet. Na automação de processos industriais, a comunicação requer alta confiabilidade e segurança das redes sem fio (HAYASHI; HASEGAWA; DEMACHI, 2009).

Essa segurança inclui prevenção contra ataques cibernéticos, falsificação e criptografia das informações. A rede de sensor sem fio (RSSF) é um novo paradigma para a aquisição de dados. Esses sensores apresentam algumas vantagens, como a facilidade de realocação, de ampliação da rede e a dispensa de cabos e conectores. Com isso, o uso da comunicação sem fio, implica na economia de gastos com cabeamento (WAGNER, 2010; LI, 2010).

Além dessas vantagens, as RSSF possuem o potencial para uso em diversos processos, como o de monitoramento de temperaturas, vazões, movimentos, umidades, dentre outras grandezas, o que justifica o seu crescente mercado (MOREIRA, 2011).

Com relação à instalação dos sensores sem fio, eles podem ser alocados em locais de difícil acesso nas indústrias, viabilizando projetos que com outra tecnologia teriam alto custo ou seriam inviabilizados.

Os sensores sem fio podem formar desde uma rede simples até uma rede mais complexa. Por possuir três topologias distintas, ele aumenta a possibilidade de organização dos equipamentos e com isso a robustez da comunicação. Dependendo da topologia, a área de cobertura pode ser ampliada.

Outro mercado que está em crescimento contínuo é a telefonia móvel, juntamente com a plataforma Android, onde muitos desenvolvedores estão adotando essa plataforma, tornando-a um mercado ideal no desenvolvimento de aplicações (MOREIRA, 2011).

Além disso, a popularização dos *smartphones* (telefones inteligentes) facilitou o acesso a esse nicho de produtos. Grande parte dos telefones móveis estão equipados com sistema operacional proprietário, o que dificulta aos desenvolvedores criarem aplicações para diferentes dispositivos móveis. Visando esse empecilho, um grupo de empresas lideradas pelo Google, formaram a *Open Handset Alliance*, com

o objetivo de desenvolver um sistema operacional de código aberto, o Android (OPEN HANDSET ALLIANCE, 2008).

Existe no mercado dispositivos de RSSF vendidos por fabricantes da área industrial com o objetivo de monitorar variáveis como temperatura, pressão, vibração, vazão, etc. Apesar de eficientes, apresentam alto custo para sua aquisição. O protótipo dessa pesquisa vem solucionar essa questão, produzindo um aparelho eficaz e de baixo custo.

Dependendo do processo industrial, temos diferentes variáveis, cujo monitoramento é imprescindível para o funcionamento da máquina em operação, como nos mancais de uma turbina, onde a temperatura é um dos pontos alto, já no tubulão de uma caldeira, a variável de importância é o nível da água. Existem outras variáveis como vibração, pressão, vazão, que podem ser mensuradas através desse protótipo, construído pelo autor.

O produto resultante é um aplicativo para dispositivos móveis com sistema operacional Android, o que diferencia a sua interface de monitoramento dos dados, sendo um protótipo para utilização no âmbito industrial.

#### 1.1 OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo explorar as RSSF, proporcionado através de um protótipo, mecanismo de telemetria de baixo custo e de longo alcance em ambientes abertos. Adotar-se-á o protocolo *ZigBee* das RSSF, propondo a utilização de dois módulos, um para o monitorar uma variável, temperatura, e outro para coordenar a rede. O monitoramento da temperatura será acompanhado através da utilização de um dispositivo móvel com sistema operacional Android, por se tratar de um sistema livre, oferecer ferramentas para desenvolvimento de aplicações de forma gratuita e permitir sua aplicação em diferentes sistemas de *hardware*, objetivando um sistema seguro, eficaz e de baixo custo.

## 1.2 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O Capítulo 1 apresenta o contexto da dissertação, a parte introdutória, exibindo alguns recursos que serão empregados, assim como o objetivo da pesquisa e estruturação do trabalho.

O Capítulo 2 aborda uma revisão sobre as RSSF presentes no âmbito industrial, apresentando conceitos, protocolos, funcionamento, segurança e suas características.

No Capítulo 3 descreve os materiais usados destacando algumas de suas características pertinentes ao trabalho.

O Capítulo 4 trás a forma com que o dispositivo móvel comunica com o módulo *ZigBee*. Os comandos utilizados para descobrir elementos compostos na rede e a forma como requisitar o valor mensurado pelo sensor da variável em análise.

O Capítulo 5 faz referência à metodologia empregada para a elaboração dos circuitos e do aplicativo gerados pelo protótipo.

- O Capítulo 6 demostra o protótipo final obtido pela pesquisa.
- O Capítulo 7 traz a conclusão baseada nos capítulos anteriores através da pesquisa e do desenvolvimento do protótipo.
- O Capítula 8 apresenta algumas propostas para futuras pesquisas no ramos de comunicação utilizando RSSF.

#### 2 REDE SEM FIO NO ÂMBITO INDUSTRIAL

O campo industrial, um ambiente hostil, é composto por vários mecanismos de medição e atuação. A instalação de alguns equipamentos pode tornar inviável o monitoramento e atuação no processo em locais de difícil acesso ou onde o projeto de infraestrutura teria um custo exorbitante. Dependendo do caso, o uso das RSSF pode ser uma alternativa mais viável.

As RSSF seguem as recomendações do *Institute of Electrical and Eletronics Engineers* (IEEE), utilizando a série IEEE 802.15.4 que está englobada no grupo *Wireless Personal Area Network* (WPAN). Esse grupo é caracterizado pela tecnologia de pequeno alcance (10 a 100 metros) (PINHEIRO, 2004).

As WPAN são destinadas a aplicações industriais, residenciais ou médicas, por terem uma baixa taxa de comunicação e ter um baixo consumo de energia (ERGEN, 2004).

Com o padrão IEEE 802.15.4, as RSSF utilizam o *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) para modular o sinal. Esse tipo de modulação utiliza uma largura de banda maior do que a necessária, espalhando o sinal em uma faixa de frequência maior. Assim, mesmo com uma pequena porcentagem de interferência na banda estreita, permite que o sinal seja recuperado (JENNIC, 2008).

A arquitetura do padrão IEEE 802.15.4 é simplificada em camadas, onde cada camada é responsável por uma parte da padronização e serve a camada superior, conforme ilustrado na Figura 1. Esse esquema é baseado no *Open System Interconnection* (OSI) (IEEE, 2006).

Figura 1 - Arquitetura protocolo IEEE 802.15.4.

Fonte: Adaptado IEEE, 2006.

A camada física é responsável pela ativação e desativação do rádio transmissor, detecção de uso dentro do canal atual, indicação da qualidade da conexão para recepção dos pacotes, seleção da frequência do canal e pela recepção e transmissão dos dados. A camada fornece dois tipos de serviços, o serviço de dados e o serviço de gerenciamento de interface para a camada física de gestão (PLME) e para o serviço de ponto de acesso (SAP), conhecidos como PLME-SAP. A transmissão e recepção das unidades de dados do protocolo (PPDUs) é feita através de canal de rádio (IEEE, 2006).

A subcamada *Media Access Control* (MAC) possui as características de acesso ao canal, gerenciamento do *Guaranteed Time Slot* (GTS), validação de quadros, reconhecimento da recepção dos quadros, associação e dissociação. Além disso, fornece oportunidade para implementação de mecanismos de aplicações de segurança (IEEE, 2006).

As camadas superiores consistem nas camadas de rede, manipulação e configurações da rede, roteamento de mensagens e a camada de aplicação, responsáveis por prover funções ao dispositivo (IEEE, 2006).

Existem diversos protocolos de comunicação nas RSSF. Alguns desses protocolos existentes são *WirelessHART*, ISA100.11a, *ZigBee*, dentre outros. A rede opera em uma faixa de frequência livre, conhecida como *Industrial, Scientific and Medical* (ISM) a 2.4GHz (HAYASHI; HASEGAWA; DEMACHI, 2009).

#### 2.1 PROTOCOLO WIRELESSHART

O protocolo *WirelessHART* foi incluído na sétima revisão da *HART Field Communication Specification*, realizada em setembro de 2007. O *WirelessHART* opera na banda 2.4GHz empregando a modulação DSSS e *Offset-Quadrature Phase Shift Keying (O-QPSK)*. A velocidade de comunicação é de 250 kbit/s, utilizando 15 canais de comunicação (canal 11 até o canal 25). A largura de banda de cada canal é de 3 MHz e estão uniformemente distribuídas ao longo de 5MHz, prevenindo a sobreposição da comunicação. A Figura 2 ilustra os canais de comunicação, comparando-os com o padrão IEEE 802.11b/g (PETERSEN; CARLSEN, 2009).

Channel 1 Channel 6 Channel 11

Channel 6 Channel 11

2.425 GHz 2.437 GHz 2.462 GHz

Channel 21

2.475 GHz

Figura 2 - Comparação dos canais de comunicação entre o padrão IEEE 802.11b/g e o WirelessHART.

Fonte: PETERSEN, 2009.

O salto de canais na rede *WirelessHART* em diversas frequências, como ilustrado na Figura 3, é realizado para evitar interferência. A lista negra de canal não permite o uso de alguns canais devido aos registros ruins. E o *Clear Channel Assessment* (CCA) é um recurso opcional que pode ser utilizado antes da transmissão da mensagem, sendo que o nível da potência da transmissão é configurável. Essas características também previnem a interferência em outras redes sem fio existentes que tenham restrições de tempo real (YUN, 2010).

Node 1

Node 2

Figura 3 - Exemplo de sequência de salto de frequência.

Fonte: HAYASHI, 2009.

O WirelessHART é confiável e fácil de ser usado. A rede em malha possui três elementos: os dispositivos WirelessHART, os gateways WirelessHART e o gerente WirelessHART. O primeiro são os dispositivos conectados ao processo, o segundo são pontes que conectam o gerente aos dispositivos de campo e que também podem converter de um protocolo a outro, podendo fazer o uso de um ou mais gateways. O terceiro é o responsável pela configuração e agendamento, gerenciamento das tabelas de roteamento e monitoramento, reportando o estado da rede. O uso de gerente redundante pode ser feito, mas apenas um fica ativo por rede (YUN, 2010).

A segurança e a integridade dos dados na rede *WirelessHART* é garantida pelo uso do algoritmo de codificação *Advanced Encryption System* (AES) de 128-bits. O algoritmo AES é baseado em um arranjo de permutação de substituição, podendo ser implementado tanto em *software* quanto em *hardware*. O protocolo utiliza 128-bits com três chaves simétricas (*join key, network* e *session*). As duas primeiras chaves são utilizadas para a entrada e manutenção na rede, enquanto a terceira chave é utilizada para manter a integridade da mensagem durante as transações (MULLER, 2010).

Em redes centralizadas, como a *ZigBee*, o gerente da rede não suporta uma ampla rede por limitação de recursos. Nesse caso, com mais de 200 nós, a rede terá um aumento na duração de atraso e na perda de pacotes. Por outro lado, o uso de mais de um *gateway* ajuda o gerente da rede na comunicação na rede *WirelessHART* (YUN, 2010).

#### 2.2 PROTOCOLO ISA100.11a

O protocolo ISA100.11a foi desenvolvido pela *International Society of Automation* (ISA), sendo aprovado em abril de 2009. O protocolo tem como objetivo ser robusto e ter comunicação segura para aplicações de automação industrial (HAYASHI; HASEGAWA; DEMACHI, 2009).

Na rede possui duas classes principais de dispositivos: dispositivos de campo e os dispositivos backbone. A classe de dispositivos de campo pode ser *Full Function Device* (FFD) ou *Reduced Function Device* (RFD), sendo que a última não possui a capacidade de roteamento. Os backbones são FFD no qual são continuamente energizados, ao contrário dos dispositivos de campo que possuem uma bateria limitada (sem capacidade de roteamento) ou energia moderada (com capacidade de roteamento). A Figura 4 ilustra uma rede ISA100.11a (Al AGHA et al., 2009; WANG, 2011).

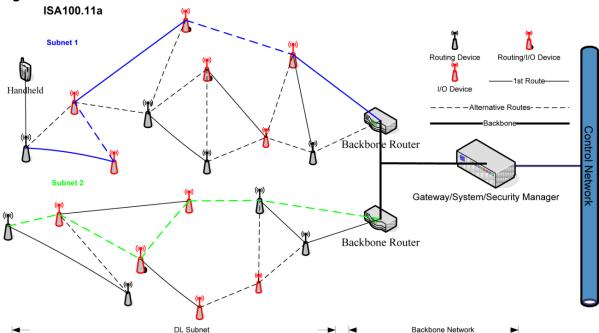


Figura 4 - Roteamento em uma rede ISA100.11a.

Fonte: WANG, 2011.

O ISA100 foi projetado para atender uma ampla gama de aplicações, com isso, classes foram padronizadas e elas vão de 0 a 5. Quanto menor o número da classe, maior é a sua prioridade. As classes com suas categorias e aplicações podem ser observadas na Tabela 1 (HASEGAWA, 2011).

Tabela 1 - Classes usadas na ISA100a.

Categoria	Classe	Aplicação
Segurança	0	Ação de emergência
Controle	1	Controle regulatório em malha fechada
	2	Controle supervisionado em malha fechada
	3	Controle em malha aberta
Monitoramento	4	Alerta
	5	Registro e download/upload

Fonte: HASEGAWA, 2011.

A segurança da comunicação do protocolo ISA100.11a foi implementado na segunda e na quinta camada. O protocolo conta com as seguranças TL (*Trasport Layer*) que está relacionada com o policiamento na transmissão, protegendo a integridade do serviço de transporte da unidade dos dados e do cabeçalho e também com a segurança DL (*Data Link*). A codificação padrão é a AES 128-*bits*, que tem bloco e chave de 16 bits (ZHANG, 2009).

A autenticação de um dispositivo na rede ISA100.11a é feita por chave simétrica e um código de identificação único. Um dispositivo novo para entrar na rede precisa da *join key* (chave de entrada) de 128-*bit* fornecida pelo gerente e o endereço EUI de 64-*bit*. Assim que o dispositivo for autenticado ele receberá os dados de segurança para comunicar com o restante da rede (ZHANG, 2009).

#### 2.3 PROTOCOLO ZIGBEE

O protocolo *ZigBee* é mantido pelo grupo *ZigBee Alliance*, que é composto por várias organizações espalhadas pelo mundo (ZIGBEE SPECIFICATION, 2011). O *ZigBee* foi elaborado sobre o padrão IEEE 802.15.4, sendo um sistema sem fio que utiliza baixas taxas de transmissão, adequando o seu uso em sistemas de controle e automação (IEEE, 2006).

A rede *ZigBee* opera em três frequências. Na Europa a rede pode operar em 868 MHz, nos Estados Unidos e na Austrália na frequência 915 MHz e mundialmente na frequência de 2.4 GHz. Em cada frequência a rede opera em uma velocidade de comunicação diferente, podendo chegar a 20, 40 ou 250 kbit/s, respectivamente (BARONTI et al., 2007).

As mensagens são transmitidas pelo protocolo *Carrier Sense Multiple Acess* with Collission Avoidance (CSMA/CA), que analisa o meio antes de transmitir a

mensagem. Caso o meio esteja ocupado, medidas são tomadas para evitar colisões (WANG, 2009).

Pelo padrão IEEE 802.15.4, o protocolo *ZigBee* possui duas camadas baixas, a camada física e a subcamada MAC. A subcamada MAC do *ZigBee* apresenta dois tipos de dispositivo, o RFD e o FFD.

Os RFD são dispositivos com funcionalidades limitadas, normalmente simples, onde a comunicação é feita apenas entre dois nós, incapazes de fazer roteamento ou serem coordenadores de rede, permanecendo apenas como dispositivo final. Já os dispositivos FFD são mais complexos, podendo assumir o papel de roteadores ou de coordenadores da rede (BONIFÁCIO, 2009).

A camada de aplicação contém os objetos de aplicação, que são subdivididos em três subcamadas: *Application Support Sub Layer* (APS), *ZigBee Device Object* (ZDO) e *Application Framework* (AF) que é definida pelo fabricante como *Application Objects* (APO), controlando e gerenciando as camadas de protocolo do *ZigBee* (RAMYA, SHANMUGARAJ; PRABAKARAN, 2011).

A subcamada ZDO possui três serviços importantes: descoberta, segurança e vinculação. O serviço de descoberta tem o papel de encontrar nós, requerendo endereço MAC do coordenador ou do roteador através de mensagens. O serviço de segurança faz a autenticação, recebendo as chaves de criptografia dos dados. A vinculação é feita pelo coordenador, que gerencia a rede, interligando a uma PAN existente ou criando novos PAN (RAMYA, SHANMUGARAJ; PRABAKARAN, 2011).

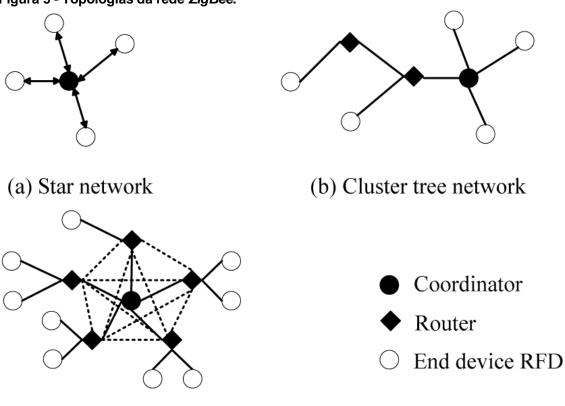
Através dos serviços fornecidos pela subcamada APS, ela realiza uma interface entre a camada de rede e de aplicação. Além disso, processa os quadros de saída e entrada para que sejam transmitidos ou recebidos com segurança, e estabelecendo e gerenciando as chaves de criptografia (RAMYA, SHANMUGARAJ; PRABAKARAN, 2011).

A rede *ZigBee* possui três topologias distintas: *star topology* (estrela), *cluster tree topology* (árvore) e *mesh* (malha):

 a) Na topologia estrela, o dispositivo com a função coordenador é responsável por iniciar e manter a rede e os outros dispositivos são conhecidos como dispositivos finais, eles comunicam diretamente com o coordenador. Essa topologia centralizada é adequada para aplicações com tempo crítico;

- b) A topologia árvore, o coordenador continua responsável pela rede, e agora surge o roteador, que possibilita ampliar a rede. Os roteadores controlam o fluxo dos dados através da estratégia de roteamento hierárquico;
- c) E por último, a topologia em malha, o coordenador continua responsável pela rede e o roteador responsável por expandir a rede. A rede em malha permite uma comunicação ponto-a-ponto completa, exceto dispositivo RFD com RFD. O roteamento dos dados é descentralizado, diferentes dispositivos fazem roteamento, então caso um ponto entre em falha outra rota é utilizada (LI, 2010). A Figura 5 ilustra essas três topologias:

Figura 5 - Topologias da rede ZigBee.



(c) Mesh network

Fonte: LI, 2010.

Existem quatro versões de *ZigBee*, a *ZigBee* 2004 (lançada em dezembro de 2004), a *ZigBee* 2006 (lançada em dezembro de 2006), a *ZigBee* 2007 e a *ZigBee* Pro, sendo que as duas últimas foram lançadas em outubro de 2007. A cada nova versão há uma melhoria e compatibilidade com as versões anteriores. A comparação entre as versões pode ser feita através da Tabela 2 (BILGIN; GUNGOR, 2012).

Tabela 2 - Comparação das especificações do ZigBee.

Características	<i>ZigB</i> ee 2004	<i>ZigBee</i> 2006	<i>ZigB</i> ee 2007	<i>ZigB</i> ee Pro
Tamanho da ROM/RAM	Menor	Menor	Pequeno	Maior
Número máximo de saltos	10	10	10	10
Número máximo de nós	31.101	31.101	31.101	65.540
Suporte a topologia Mesh	+	+	+	+
Capacidade broadcasting (difusão)	+	+	+	+
Opção Roteamento em árvore	-	+	+	-
Agilidade de frequência	-	-	+	+
Largura de banda utilizada pelo protocolo	Mínimo	Mínimo	Mais	Maior
Opção de fragmentação	-	-	+	+
Capacidade de multicasting	-	-	-	+
Roteamento da origem	-	-	-	+
Uso sistemático de links	-	-	-	+
AES 128 bit	+	+	+	+
Suporte a segurança nas camadas altas	+	+	+	+
Alta segurança (SKKE)	-	-	-	+
Suporte a biblioteca cluster	-	+	+	+

Fonte: BILGIN; GUNGOR, 2012.

Uma das características que destacam na rede *ZigBee* é a segurança. A troca de mensagens é garantida através dos recursos de controle de acesso, integridade das mensagens, confiabilidade das mensagens e proteção contra ataques de repetição. Esses recursos estão na camada MAC e na camada de aplicação, que trabalha através de serviços (SASTRY; WAGNER, 2004).

O Message Authentication Code é incluído em cada pacote, para controlar o acesso, prevenindo o acesso de dispositivos intrusos com uma rede privada. Além disso, garante que as mensagens não sejam alteradas na transmissão, funcionando como um código de validação, *checksum* criptografado (SASTRY; WAGNER, 2004).

Então, com relação a segurança da rede *ZigBee*, ela é simples e forte, sendo baseada em um algoritmo AES 128-*bits*, incorporando os elementos de segurança do padrão IEEE 802.15.4. O *ZigBee* contém segurança nas camadas MAC, rede e aplicação, contendo serviço de proteção, que inclui métodos de conexão e transporte por chave, gerenciamento de dispositivos e estrutura de proteção. Entretanto, a segurança do *ZigBee* consome uma grande quantidade de recurso. Em algumas aplicações simples, a segurança é simplificada e é apresentado um método eficiente para proteção dos pacotes de mensagens da camada de aplicação (LI, 2010).

A Tabela 3 faz um comparativo das características das camadas dos protocolos mencionados no projeto (Al AGHA et al., 2009).

Tabela 3 - Características das camadas dos protocolos *ZigB*ee, *WirelessHART* e ISA100.11a.

Camadas/Protocolo	ZigBee	WirelessHART	ISA100.11a	
Camada Física	IEEE 80.15.4-2003	IEEE 802.15.4-2006	IEEE 802.15.4-2006	
	com rádio a 868MHz,	com rádio a 2,4GHz	com rádio a 2,4GHz	
	915Mhz ou 2,4GHz			
Camada MAC	IEEE 802.15.4-2003	IEEE 802.15.4-2006	IEEE 802.15.4-2006	
	com salto de baixa	com TDMA + salto de	com extensão de	
	frequência. Sem	canal ou método de	correção de salto de	
	método de acesso	passagem de Token.	frequência.	
	determinístico.			
Topologias	Árvore, Estrela ou	Estrela ou Malha	Estrela ou Malha	
	Malha			
Escalabilidade da	Endereço do nó de	Endereço de rede de	Endereço da rede de	
rede	16-bit e endereço do	16-bit, apelido com	64-bit e endereço do	
	grupo com 16-bit ou	16-bit e endereço	dispositivo com 64-bit	
	endereço de rede	com 64-bit		
	estendido com 64-bit			
Estratégia de	Mecanismo misto	Roteamento gráfico	Roteamento gráfico	
roteamento da rede	composto de AODV e	(roteamento estado	(roteamento estado	
	roteamento em	de ligação)	de ligação)	
	árvore.			

Fonte: Al AGHA et al., 2009.

## 3 EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS DISPONÍVEIS NA ATUALIDADE

#### 3.1 XBee PRO S2B

É um módulo de comunicação RSSF que utiliza o protocolo *ZigBee*, possui uma dimensão de 2438 x 3294 mm e 20 pinos. Dentre eles, pinos de alimentação, de entrada discreta, de saída discreta, de entrada analógica e de comunicação. A Tabela 4 detalha o papel de cada pino e a Figura 6 ilustra as suas posições.

Para o funcionamento do módulo é necessário alimentá-lo com uma tensão que pode variar de 2,7 a 3,6 volts de corrente contínua (VCC).

O seu alcance em ambientes fechados pode chegar de 60 a 90 metros. Já em ambientes abertos pode atingir de 1500 a 3200 metros. Fato esse, decisivo na escolha desse modelo do fabricante *Digi International Inc*, para a construção do protótipo.

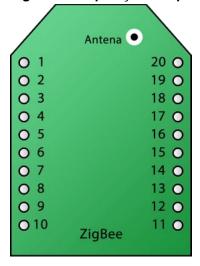
Tabela 4 - Funções dos Pinos XBee.

Pino	Nome	Direção	Estado padrão	Descrição
1	VCC	- -	-	Alimentação
2	DOUT	Saída	Saída	Saída Serial UART
3	DIN / CONFIG	Entrada	Entrada	Entrada Serial UART
4	DIO12	Ambos	Desabilitado	E/S Digital 12
5	RESET	Ambos	Coletor aberto com pull-up	Reset do módulo
6	RSSI PWM / DIO10	Ambos	Saída	Indicado da força do sinal RX / E/S Digital 10
7	DIO11	Ambos	Entrada	E/S Digital 11
8	Reservado	_	Desabilitado	Não conectar
9	DTR / SLEEP_RQ / DIO8	Ambos	Entrada	Pino linha de controle <i>sleep</i> ou E/S Digital 8
10	GND	-	-	Terra
11	DIO4	Ambos	Desabilitado	E/S Digital 4
				Controle de fluxo Clear-to-Send ou
12	CTS / DIO7	Ambos	Saída	E/S Digital 7. Caso CTS habilitado, é uma saída
13	ON/SLEEP/DIO9	Saída	Saída	Indicador do estado do módulo ou E/S Digital 9
14	VREF	Entrada	-	Não é usado para EM250. Usado para processador secundários programável. Para compatibilidade com outros módulos XBee, é recomendado ligar este pino de referência de tensão, caso utilizar a amostragem analógica. Caso contrário, ligue no pino terra.
15	Associate / DIO5	Ambos	Saída	Indicador Associated, E/S Digital 5
16	RTS / DIO6	Ambos	Entrada	Controle de fluxo Request-to-Send, E/S Digital 6. Caso RTS habilitado, é uma entrada

17	AD3 / DIO3	Ambos	Desabilitado	E. Analógica 3 ou E/S Digital 3
18	AD2 / DIO2	Ambos	Desabilitado	E. Analógica 2 ou E/S Digital 2
19	AD1 / DIO1	Ambos	Desabilitado	E. Analógica 1 ou E/S Digital 1
20	AD0 / DIO0 / Botão	\ mboo	Dooobilitada	E. Analógica 0, E/S Digital 0 ou
20	de comissionamento	Ambos	Desabilitado	botão de comissionamento

Fonte: DIGI INTERNATIONAL, 2012.

Figura 6 - Disposição dos pinos do módulo ZigBee.



Fonte: o Autor.

Uma das maneiras de realizar a comunicação utilizando o módulo *XBee* é através da forma serial. Para esse fim, é necessário utilizar alguns parâmetros, os parâmetros de fábrica desse módulo estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros de fábrica para comunicação serial com o módulo ZigBee.

Parâmetro	Configuração
Velocidade (Bound rate)	9600 bps
Controle de fluxo (Flow control)	Nenhum (None)
Bit de dados (Data bit)	8
Paridade ( <i>Parity</i> )	Nenhuma (None)
Bit de parada (Stop bit)	1

Fonte: o Autor.

Para a utilização do módulo *XBee* com a finalidade de torna-lo dispositivo final da RSSF, temos parâmetros a serem adequados, os quais estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Descrição dos parâmetros pa	a o módulo XBee como dispositivo final.
--	---

ID Identífica o ID da PAN que o ZigBee vai se juntar. Caso seja atribuido o valor zero, o dispositivo pode juntar a qualquer PAN. Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF		escrição dos parâmetros para o módulo XBee como dispositivo final.
dispositivo pode juntar a qualquer PAN. Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF	Parâmetro	Descrição
SC Identifica a lista de canais que serão pesquisados quando está formando uma PAN. Bit 15 = Chan 0x1A Bit 0 = Chan 0x0B Faixa: 1 a 0xFFFF SD Determina o expoente de duração da pesquisa ativa na PAN em cada canal marcado em SC ao tentar entrar em uma PAN. Scan Time = SC * (2 <sup>32</sup> ) * 15.36 (ms), onde SC é a quantidade de canais. Faixa: 0 a 0x07 (expoente)  SD Determina o perfil do ZigBee. Opções: 0=Especificado pela Rede, 1=ZigBee-2006 e 2=ZigBee PRO. Faixa: 0 a 0x1 (expoente)  Faixa: 0 a 0x1 (expoente)  Faixa: 0 a 0x1 (expoente)  Faixa: 0 a 0x4F  JN Define a política de reingresso do dispositivo final a uma PAN, caso ele perca a comunicação. Para NF=0xFF, o dispositivo final sempre terá a permissão ativa para entrar e juntar-se através da associação.  Faixa: 0 a 0xFF  JN Configura a notificação de entrada. Caso habilitado, o módulo transmitirá em broadcast (para todos os dispositivos da rede) ao ser ligado ou ao entrar em uma rede. Essa ação faz o LED de Associação piscar rapidamente em todos os dispositivos que recebera, a mensagem e enviam uma pacote API para saída UART do dispositivos. É recomendável que essa função seja desabilitada em grandes redes. Destination Address High define os 32 bits máis significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFFF é feito o broadcast.  Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFF feito o broadcast.  Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFFF feito o	ID	dispositivo pode juntar a qualquer PAN.
em SC ao tentar entrar em uma PAN. Scan Time = SC * (2 <sup>SD</sup> ) * 15.36 (ms), onde SC é a quantidade de canais. Faixa: 0 a 0x07 (expoente)  Determina o perfil do ZigBee. Opções: 0=Especificado pela Rede, 1=ZigBee-2006 e 2=ZigBee PRO. Faixa: 0 a 2  NJ Define a política de reingresso do dispositivo final a uma PAN, caso ele perca a comunicação. Para NF=0xFF, o dispositivo final a uma PAN, caso ele perca a comunicação. Para NF=0xFF, o dispositivo final sempre terá a permissão ativa para entrar e juntar-se através da associação.  Faixa: 0 a 0xFF  JN Configura a notificação de entrada. Caso habilitado, o módulo transmitirá em broadcast (para todos os dispositivos da rede) ao ser ligado ou ao entrar em uma rede. Essa ação faz o LED de Associação piscar rapidamente em todos os dispositivos que recebera, a mensagem e enviam uma pacote API para saída UART do dispositivos que recebera, a mensagem e enviam uma pacote API para saída UART do dispositivos que recebera, a mensagem e enviam uma pacote API para saída UART do dispositivos due fectorea, a mensagem e enviam uma pacote API para saída UART do dispositivos due fectorea, a mensagem e enviam uma pacote API para saída UART do dispositivos due fectorea, a mensagem e enviam uma pacote API para saída UART do dispositivos Abdress High define os 32 bits mais significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF é feito o broadcast.  Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF  DE Destination Address Low define os 32 bits menos significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF é feito o broadcast.  Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFF feito o broadcast.  Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF feito o broadcast.  Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFF feito o broadcast.  Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFF feito o broadcast.  Faixa: 0 a 0xFFF feito o broadcast.  Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFF feito o br	SC	Identifica a lista de canais que serão pesquisados quando está formando uma PAN. Bit 15 = Chan 0x1A Bit 0 = Chan 0x0B
<ul> <li>ZS Determina o perfil do ZigBee. Opções: 0=Especificado pela Rede, 1=ZigBee-2006 e 2=ZigBee PRO.         Faixa: 0 a 2</li> <li>NJ Define a política de reingresso do dispositivo final a uma PAN, caso ele perca a comunicação. Para NF=0xFF, o dispositivo final sempre terá a permissão ativa para entrar e juntar-se através da associação.         Faixa: 0 a 0xFF</li> <li>JN Configura a notificação de entrada. Caso habilitado, o módulo transmitirá em broadcast (para todos os dispositivos da rede) ao ser ligado ou ao entrar em uma rede. Essa ação faz o LED de Associação piscar rapidamente em todos os dispositivos, gue recebera, a mensagem e enviam uma pacote API para saida UART do dispositivos. È recomendável que essa função seja desabilitada em grandes redes.         Destination Address High define os 32 bits mais significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF fe feito o broadcast.         Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF</li> <li>Destination Address Low define os 32 bits menos significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF feito o broadcast.         Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFF</li> <li>NI Define o nome identificador para o nó da rede (String).</li> <li>NH Define o limite de saltos. Esse limite define o número máximo de saltos em broadcast (BH) e determina o tempo limite de comunicação para um único destinatário que é (50°NH+100). O tempo de 1,6 s (NH=30) é suficiente para os dados e o pacote de reconhecimento (ACK) percorrerem cerca de 8 saltos.</li></ul>	SD	em SC ao tentar entrar em uma PAN. Scan Time = $SC * (2^{SD}) * 15.36$ (ms), onde SC é a quantidade de canais.
<ul> <li>NJ Define a política de reingresso do dispositivo final a uma PAN, caso ele perca a comunicação. Para NF=0xFF, o dispositivo final sempre terá a permissão ativa para entrar e juntar-se através da associação.</li> <li>Faixa: 0 a 0xFF</li> <li>JN Configura a notificação de entrada. Caso habilitado, o módulo transmitirá em broadcast (para todos os dispositivos da rede) ao ser ligado ou ao entrar em uma rede. Essa ação faz o LED de Associação piscar rapidamente em todos os dispositivos que recebera, a mensagem e enviam uma pacote API para saida UART do dispositivos. É recomendável que essa função seja desabilitada em grandes redes.</li> <li>DH Destination Address High define os 32 bits mais significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF é feito o broadcast.</li> <li>Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFF feito o broadcast.</li> <li>Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFF é feito o broadcast.</li> <li>Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFF feito o broadcast.</li> <li>Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFF</li> <li>NI Define o limite de saltos. Esse limite define o número máximo de saltos em broadcast (BH) e determina o tempo limite de comunicação para um único destinatário que é (50°NH+100). O tempo de 1,6 s (NH=30) é suficiente para os dados e o pacote de reconhecimento (AcK) percorrerem cerca de 8 saltos.</li> <li>Faixa: 0 a 0xFF</li> <li>BD Efine o riaio de transmissão para broadcast. Para BH=0, utiliza-se o raio máximo. Faixa: 0 a 0xFF</li> <li>DE Configura o valor de identificação do tipo do dispositivo, podendo ser usado para diferenciar diversos produtos baseados no XBee.</li> <li>Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFF</li> <li>Define o tempo máximo de atraso da resposta do comando de descoberta de nós. Tempo máximo e NT *100 (ms)</li> <li>Faixa: 0 a 3</li> <li>PL Seleciona a potência de saída da transmissão. Opções: 0=-8dB, 1=-6dB, 2=-4dB, 3=-2dB, 4=-0dB.</li> <li>PM Habilita a opção de criptografía. Para EO=0, Adquire ou transmite a cha</li></ul>	ZS	Determina o perfil do <i>ZigBee</i> . Opções: 0=Especificado pela Rede, 1= <i>ZigBee</i> -2006 e 2= <i>ZigBee</i> PRO.
broadcast (para todos os dispositivos da rede) ao ser ligado ou ao entrar em uma rede. Essa ação faz o LED de Associação piscar rapidamente em todos os dispositivos que recebera, a mensagem e enviam uma pacote API para saída UART do dispositivos. É recomendável que essa função seja desabilitada em grandes redes. Destination Address High define os 32 bits mais significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF éfeito o broadcast. Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF  DL Destination Address Low define os 32 bits menos significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF éfeito o broadcast. Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFF  NI Define o nome identificador para o nó da rede (String).  Define o limite de saltos. Esse limite define o número máximo de saltos em broadcast (BH) e determina o tempo limite de comunicação para um único destinatário que é (50°NH+100). O tempo de 1,6 s (NH=30) é suficiente para os dados e o pacote de reconhecimento (ACK) percorrerem cerca de 8 saltos. Faixa: 0 a 0xFF  BH Define o raio de transmissão para broadcast. Para BH=0, utiliza-se o raio máximo. Faixa: 0 a 0xFF  BC Configura o valor de identificação do tipo do dispositivo, podendo ser usado para diferenciar diversos produtos baseados no XBee. Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF  NT Define o tempo máximo de atraso da resposta do comando de descoberta de nós. Tempo máximo = NT * 100 (ms) Faixa: 0 a 0 xFFFFFFFF 100 ms  Define a opção de registro para descoberta de nós. Opções: 1=Incluir o valor DD no final da descoberta, 2=Retorna o ND do próprio dispositivo. Faixa: 0 a 0 xGF * 100 ms  Pelice a opção de registro para descoberta de nós. Opções: 0=-8dB, 1=-6dB, 2=-4dB, 3=-2dB, 4=-0dB.  PM Habilita a opção boost (impulso). Caso ativado, melhora a sensibilidade em 1dB e aumenta a potência de saída em 2dB, melhorando a conexão e o alcance.  EE Ativar a criptografia.  Seleciona a velocidade de comunicação serial (Baud Rate). Opções: 0=1200bps,	NJ	Define a política de reingresso do dispositivo final a uma PAN, caso ele perca a comunicação. Para NF=0xFF, o dispositivo final sempre terá a permissão ativa para entrar e juntar-se através da associação.
<ul> <li>DH Destination Address High define os 32 bits mais significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF é feito o broadcast.         Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF</li> <li>DL Destination Address Low define os 32 bits menos significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF é feito o broadcast.         Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF</li> <li>NI Define o nome identificador para o nó da rede (String).</li> <li>NH Define o limite de saltos. Esse limite define o número máximo de saltos em broadcast (BH) e determina o tempo limite de comunicação para um único destinatário que é (50°NH+100). O tempo de 1,6 s (NH=30) é suficiente para os dados e o pacote de reconhecimento (ACK) percorrerem cerca de 8 saltos.         Faixa: 0 a 0xFF</li> <li>BH Define o raio de transmissão para broadcast. Para BH=0, utiliza-se o raio máximo.         Faixa: 0 a 0xFE</li> <li>DD Configura o valor de identificação do tipo do dispositivo, podendo ser usado para diferenciar diversos produtos baseados no XBee.         Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF</li> <li>NT Define o tempo máximo de atraso da resposta do comando de descoberta de nós.         Tempo máximo = NT * 100 (ms)         Faixa: 0 x20 a 0xFF * 100 ms</li> <li>NO Define a opção de registro para descoberta de nós. Opções: 1=Incluir o valor DD no final da descoberta, 2=Retorna o ND do próprio dispositivo.         Faixa: 0 a 3</li> <li>PL Seleciona a potência de saída da transmissão. Opções: 0=-8dB, 1=-6dB, 2=-4dB, 3=-2dB, 4=0dB.</li> <li>PM Habilita a opção boost (impulso). Caso ativado, melhora a sensibilidade em 1dB e aumenta a potência de saída em 2dB, melhorando a conexão e o alcance.</li> <li>EE Ativar a criptografía. Para EO=0, Adquire ou transmite a chave de segurança não criptografada ao entrar em uma PAN.</li> <li>BD Seleciona a velocidade de comunicação serial (Baud Rate). Opções: 0=1200bps, 1=2400bps, 2=448</li></ul>	JN	broadcast (para todos os dispositivos da rede) ao ser ligado ou ao entrar em uma rede. Essa ação faz o LED de Associação piscar rapidamente em todos os dispositivos que recebera, a mensagem e enviam uma pacote API para saída UART
endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF é feito o broadcast. Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF NI Define o nome identificador para o nó da rede (String).  NH Define o limite de saltos. Esse limite define o número máximo de saltos em broadcast (BH) e determina o tempo limite de comunicação para um único destinatário que é (50*NH+100). O tempo de 1,6 s (NH=30) é suficiente para os dados e o pacote de reconhecimento (ACK) percorrerem cerca de 8 saltos.  Faixa: 0 a 0xFF BH Define o raio de transmissão para broadcast. Para BH=0, utiliza-se o raio máximo. Faixa: 0 a 0x1E  DD Configura o valor de identificação do tipo do dispositivo, podendo ser usado para diferenciar diversos produtos baseados no XBee. Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF  NT Define o tempo máximo de atraso da resposta do comando de descoberta de nós. Tempo máximo = NT * 100 (ms) Faixa: 0x20 a 0xFF * 100 ms  NO Define a opção de registro para descoberta de nós. Opções: 1=Incluir o valor DD no final da descoberta, 2=Retorna o ND do próprio dispositivo. Faixa: 0 a 3  PL Seleciona a potência de saída da transmissão. Opções: 0=-8dB, 1=-6dB, 2=-4dB, 3=-2dB, 4=0dB.  PM Habilita a opção boost (impulso). Caso ativado, melhora a sensibilidade em 1dB e aumenta a potência de saída em 2dB, melhorando a conexão e o alcance.  EE Ativar a criptografia.  EO Seleciona a opção de criptografia. Para EO=0, Adquire ou transmite a chave de segurança não criptografada ao entrar em uma PAN.  BD Seleciona a velocidade de comunicação serial (Baud Rate). Opções: 0=1200bps, 1=2400bps, 2=4800bps, 3=9600bps, 4=19200bps, 5=38400bps, 6=57600bps e	DH	Destination Address High define os 32 bits mais significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF é feito o broadcast.
<ul> <li>NH Define o limite de saltos. Esse limite define o número máximo de saltos em broadcast (BH) e determina o tempo limite de comunicação para um único destinatário que é (50*NH+100). O tempo de 1,6 s (NH=30) é suficiente para os dados e o pacote de reconhecimento (ACK) percorrerem cerca de 8 saltos. Faixa: 0 a 0xFF</li> <li>BH Define o raio de transmissão para broadcast. Para BH=0, utiliza-se o raio máximo. Faixa: 0 a 0x1E</li> <li>DD Configura o valor de identificação do tipo do dispositivo, podendo ser usado para diferenciar diversos produtos baseados no XBee. Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF</li> <li>NT Define o tempo máximo de atraso da resposta do comando de descoberta de nós. Tempo máximo = NT * 100 (ms)</li></ul>	DL	endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF é feito o <i>broadcast</i> .
<ul> <li>Define o raio de transmissão para broadcast. Para BH=0, utiliza-se o raio máximo. Faixa: 0 a 0x1E</li> <li>Configura o valor de identificação do tipo do dispositivo, podendo ser usado para diferenciar diversos produtos baseados no XBee. Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF</li> <li>NT Define o tempo máximo de atraso da resposta do comando de descoberta de nós. Tempo máximo = NT * 100 (ms) Faixa: 0x20 a 0xFF * 100 ms</li> <li>NO Define a opção de registro para descoberta de nós. Opções: 1=Incluir o valor DD no final da descoberta, 2=Retorna o ND do próprio dispositivo. Faixa: 0 a 3</li> <li>PL Seleciona a potência de saída da transmissão. Opções: 0=-8dB, 1=-6dB, 2=-4dB, 3=-2dB, 4=0dB.</li> <li>PM Habilita a opção boost (impulso). Caso ativado, melhora a sensibilidade em 1dB e aumenta a potência de saída em 2dB, melhorando a conexão e o alcance.</li> <li>EE Ativar a criptografia.</li> <li>EO Seleciona a opção de criptografia. Para EO=0, Adquire ou transmite a chave de segurança não criptografada ao entrar em uma PAN.</li> <li>BD Seleciona a velocidade de comunicação serial (Baud Rate). Opções: 0=1200bps, 1=2400bps, 2=4800bps, 3=9600bps, 4=19200bps, 5=38400bps, 6=57600bps e 7=115200bps</li> </ul>		Define o limite de saltos. Esse limite define o número máximo de saltos em <i>broadcast</i> (BH) e determina o tempo limite de comunicação para um único destinatário que é (50*NH+100). O tempo de 1,6 s (NH=30) é suficiente para os dados e o pacote de reconhecimento (ACK) percorrerem cerca de 8 saltos.
<ul> <li>Configura o valor de identificação do tipo do dispositivo, podendo ser usado para diferenciar diversos produtos baseados no <i>XBee</i>.         <ul> <li>Faixa: 0 a 0xFFFFFFF</li> </ul> </li> <li>NT Define o tempo máximo de atraso da resposta do comando de descoberta de nós. Tempo máximo = NT * 100 (ms)</li></ul>	ВН	Define o raio de transmissão para broadcast. Para BH=0, utiliza-se o raio máximo.
<ul> <li>NT Define o tempo máximo de atraso da resposta do comando de descoberta de nós. Tempo máximo = NT * 100 (ms)     Faixa: 0x20 a 0xFF * 100 ms</li> <li>NO Define a opção de registro para descoberta de nós. Opções: 1=Incluir o valor DD no final da descoberta, 2=Retorna o ND do próprio dispositivo.     Faixa: 0 a 3</li> <li>PL Seleciona a potência de saída da transmissão. Opções: 0=-8dB, 1=-6dB, 2=-4dB, 3=-2dB, 4=0dB.</li> <li>PM Habilita a opção boost (impulso). Caso ativado, melhora a sensibilidade em 1dB e aumenta a potência de saída em 2dB, melhorando a conexão e o alcance.</li> <li>EE Ativar a criptografia.</li> <li>EO Seleciona a opção de criptografia. Para EO=0, Adquire ou transmite a chave de segurança não criptografada ao entrar em uma PAN.</li> <li>BD Seleciona a velocidade de comunicação serial (Baud Rate). Opções: 0=1200bps, 1=2400bps, 2=4800bps, 3=9600bps, 4=19200bps, 5=38400bps, 6=57600bps e 7=115200bps</li> </ul>	DD	Configura o valor de identificação do tipo do dispositivo, podendo ser usado para diferenciar diversos produtos baseados no <i>XBee</i> .
<ul> <li>NO Define a opção de registro para descoberta de nós. Opções: 1=Incluir o valor DD no final da descoberta, 2=Retorna o ND do próprio dispositivo. Faixa: 0 a 3</li> <li>PL Seleciona a potência de saída da transmissão. Opções: 0=-8dB, 1=-6dB, 2=-4dB, 3=-2dB, 4=0dB.</li> <li>PM Habilita a opção boost (impulso). Caso ativado, melhora a sensibilidade em 1dB e aumenta a potência de saída em 2dB, melhorando a conexão e o alcance.</li> <li>EE Ativar a criptografia.</li> <li>EO Seleciona a opção de criptografia. Para EO=0, Adquire ou transmite a chave de segurança não criptografada ao entrar em uma PAN.</li> <li>BD Seleciona a velocidade de comunicação serial (Baud Rate). Opções: 0=1200bps, 1=2400bps, 2=4800bps, 3=9600bps, 4=19200bps, 5=38400bps, 6=57600bps e 7=115200bps</li> </ul>	NT	Define o tempo máximo de atraso da resposta do comando de descoberta de nós. Tempo máximo = NT * 100 (ms)
<ul> <li>PL Seleciona a potência de saída da transmissão. Opções: 0=-8dB, 1=-6dB, 2=-4dB, 3=-2dB, 4=0dB.</li> <li>PM Habilita a opção <i>boost</i> (impulso). Caso ativado, melhora a sensibilidade em 1dB e aumenta a potência de saída em 2dB, melhorando a conexão e o alcance.</li> <li>EE Ativar a criptografia.</li> <li>EO Seleciona a opção de criptografia. Para EO=0, Adquire ou transmite a chave de segurança não criptografada ao entrar em uma PAN.</li> <li>BD Seleciona a velocidade de comunicação serial (<i>Baud Rate</i>). Opções: 0=1200bps, 1=2400bps, 2=4800bps, 3=9600bps, 4=19200bps, 5=38400bps, 6=57600bps e 7=115200bps</li> </ul>	NO	Define a opção de registro para descoberta de nós. Opções: 1=Incluir o valor DD no final da descoberta, 2=Retorna o ND do próprio dispositivo.
<ul> <li>PM Habilita a opção boost (impulso). Caso ativado, melhora a sensibilidade em 1dB e aumenta a potência de saída em 2dB, melhorando a conexão e o alcance.</li> <li>EE Ativar a criptografia.</li> <li>EO Seleciona a opção de criptografia. Para EO=0, Adquire ou transmite a chave de segurança não criptografada ao entrar em uma PAN.</li> <li>BD Seleciona a velocidade de comunicação serial (Baud Rate). Opções: 0=1200bps, 1=2400bps, 2=4800bps, 3=9600bps, 4=19200bps, 5=38400bps, 6=57600bps e 7=115200bps</li> </ul>	PL	Seleciona a potência de saída da transmissão. Opções: 0=-8dB, 1=-6dB, 2=-4dB, 3=-
<ul> <li>Seleciona a opção de criptografia. Para EO=0, Adquire ou transmite a chave de segurança não criptografada ao entrar em uma PAN.</li> <li>BD Seleciona a velocidade de comunicação serial (<i>Baud Rate</i>). Opções: 0=1200bps, 1=2400bps, 2=4800bps, 3=9600bps, 4=19200bps, 5=38400bps, 6=57600bps e 7=115200bps</li> </ul>		Habilita a opção boost (impulso). Caso ativado, melhora a sensibilidade em 1dB e
segurança não criptografada ao entrar em uma PAN.  BD Seleciona a velocidade de comunicação serial ( <i>Baud Rate</i> ). Opções: 0=1200bps, 1=2400bps, 2=4800bps, 3=9600bps, 4=19200bps, 5=38400bps, 6=57600bps e 7=115200bps	EE	Ativar a criptografia.
BD Seleciona a velocidade de comunicação serial ( <i>Baud Rate</i> ). Opções: 0=1200bps, 1=2400bps, 2=4800bps, 3=9600bps, 4=19200bps, 5=38400bps, 6=57600bps e 7=115200bps	EO	
	BD	Seleciona a velocidade de comunicação serial ( <i>Baud Rate</i> ). Opções: 0=1200bps, 1=2400bps, 2=4800bps, 3=9600bps, 4=19200bps, 5=38400bps, 6=57600bps e
	NB	

- 2=Ímpar, 3=*Mark*
- SB Seleciona o Bit de parada. Opções: 0=1 STOP BIT, 1=2 STOP BIT
- D7 Configura o pino DIO7 que pode assumir os seguintes papeis: Entrada ou saída discreta ou entrada analógica. Opções: 0=Desabilitado, 1=Controle de Fluxo CTS, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta, 6=Controle RS-485 Baixa, 7= Controle RS-485 Alta
- D6 Configura o pino DIO6 que pode assumir os seguintes papeis: Entrada ou saída discreta ou entrada analógica. Opções: 0=Desabilitado, 1=Controle de Fluxo RTS, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta
- AP Habilita o modo API. Opções: 1=API Habilitado, 2= API Habilitado com Escaping.
- AO Define o modo de registro do valor de saída API. Opções: 0=Recepção dos dados no formato nativo dos pacotes, 1=Recepção dos dados RF formatado como Explícito Indicador Rx, 3=Semelhante ao 1, acrescentado as requisições ZDO recebidas que são passadas a UART.
- SM Modo de espera. Opções: 0=Desativado, 1=Pino Hibernação, 2=Reservado, 3=Reservado, 4=Espera Cíclica, 5=Espera Cíclica ou transição alta para baixa em um pino para ativar.
- ST Define o tempo de inatividade (sem comunicação serial ou envio/recebimento de dados sem fio) antes de entrar no modo de espera. Para SM em 4 ou 5. Tempo em milissegundos.

Faixa: 0x1 a 0xFFFE (ms)

- SP Define o período cíclico em espera para espera remota. Define SP em todos os dispositivos finais da rede. Em roteadores ou coordenadores, SP define o tempo limite para transmissão e o armazenamento quando envia uma mensagem para um dispositivo final adormecido.

  Faixa: 0x20 a 0xAF0 \* 10 ms
- SN Define o número de ciclos em espera que o pino Ligado/Espera permaneça em nível baixo durante o estado de espera. Isso permite que uma aplicação externa faça ficar em espera mais do que o tempo máximo (SP). O SN com valor 1, deixa o pino Ligado/Espera em nível alto depois de cada tempo SP (padrão). Faixa: 1 a 0xFFFF
- Define opções para o modo em espera. Opções: 0x02=Ativo pelo tempo definido em ST a cada ciclo de ativação (depois de em espera por SN períodos de espera), 0x04=Habilita ciclo de espera estendido (tempo em espera por SN\*SP, com possibilidade de perda de dados). Outras opções, o valor permanecer em 0. Faixa: 0 a 0xFF
- PO Define a taxa de pesquisa em unidades de 10 ms, quando o dispositivo final está em espera. Em 0 (padrão), a pesquisa passa a ser feita a cada 100 ms (taxa padrão). Pesquisa personalizada, permite que o dispositivo final pesquise mais rapidamente, por um tempo curto, quando está recebendo dados. Faixa: 0 a 0x3E8
- D0 Entrada ou saída discreta, entrada analógica ou botão de comissionamento. Opções: 0=Desabilitado, 1=Botão de comissionamento, 2=Entrada Analógica, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta
- D1 Entrada ou saída discreta ou entrada analógica. Opções: 0=Desabilitado, 2=Entrada Analógica, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta
- D2 Entrada ou saída discreta ou entrada analógica. Opções: 0=Desabilitado, 2=Entrada Analógica, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta
- D3 Entrada ou saída discreta ou entrada analógica. Opções: 0=Desabilitado, 2=Entrada Analógica, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta
- D4 Entrada ou saída discreta. Opções: 0=Desabilitado, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta
- D5 Entrada ou saída discreta ou indicador LED de associação (pisa quando associado). Opções: 0=Desabilitado, 1=Indicador de Associação, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta
- P0 Entrada ou saída discreta ou saída PWM. Opções: 0=Desabilitado, 1=Saída PWM RSSI, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta
- P1 Entrada ou saída discreta. Opções: 0=Desabilitado, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta
- P2 Entrada ou saída discreta. Opções: 0=Desabilitado, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital

	Baixa, 5=Saída Digital Alta
PR	Define o uso do resistor interno de pullup, Opções: 0=Não faz uso do resistor interno,
	1=Utiliza o resistor interno.
LT	Configura a taxa que o LED que indica associação (DIO5) irá piscar, caso D5 = 1 e o
	módulo tenha entrado em uma rede. O valor de LT em 0, utilizará o tempo padrão,
	que é de 250 ms.
	Faixa: 0x0A a 0xFF * 10 (ms)
RP	Define o tempo de registro do PWM. Configura a duração da saída do sinal PWM
	(pulso com modulação) no pino RSSI (P6). O P ciclo de trabalho do sinal é atualizado
	a cada pacote recebido ou sinal de reconhecimento APS e é desligado quando expirar
	o tempo.
	Faixa: 0 a 0xFF * 100 (ms)
IR	Define a taxa de amostragem das entradas e saídas. Caso valor seja maior que 0,
	todas as entradas e saídas digitais e entrada analógica ativas serão coletadas as
	amostras e transmitidas pelo tempo estipulado pelo valor de IR em milissegundos. As
10	informações serão transmitidas para o endereço especificado no DH+DL.
IC	Nesse campo habilita o monitoramento de cada entrada ou saída discreta. Caso
	ocorra uma alteração em uma E/S digital, a amostra coletada é imediatamente transmitida para o endereço especificado pelo DH+DL.
	Faixa: 0 a 0xFFFF
V+	Quedas abaixo do valor, o tensão de alimentação será utilizada para amostragem de
٧Ŧ	entrada/saída. A faixa de alimentação do XBee é de 2,1 a 3,6 V, após o
	escalonamento de 1024/1200.
	Faixa: 0 a 0x0700-0x0C00
-anto: Ado	ntado do PAMOS 2012

Fonte: Adaptado de RAMOS, 2012.

Para a utilização do módulo *XBee* com a finalidade de torna-lo coordenador da RSSF, temos parâmetros a serem adequados, os quais estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros para o módulo ZigBee como coordenador.

Tabela 1 - Farametros para o modulo Zigbee como coordenador.			
Parâmetro	Descrição		
ID	Identifica o ID da PAN de rede do <i>ZigBee</i> . Caso seja atribuído o valor zero, o coordenador atribui um ID aleatório para PAN. Faixa: 0 a 0xFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF		
SC	Identifica a lista de canais que serão pesquisados quando está formando uma PAN. Bit 15 = Chan 0x1A Bit 0 = Chan 0x0B Faixa: 1 a 0xFFFF		
SD	Determina o expoente de duração da pesquisa ativa na PAN em cada canal marcado em SC ao tentar entrar em uma PAN. Scan Time = $SC * (2^{SD}) * 15,36$ (ms), onde SC é a quantidade de canais. Faixa: 0 a 0x07 (expoente)		
ZS	Determina o perfil do <i>ZigBee</i> . Opções: 0=Especificado pela Rede, 1= <i>ZigBee</i> -2006 e 2= <i>ZigBee</i> PRO. Faixa: 0 a 2		
NJ	Define o tempo de ingresso de um nó. O valor NJ determina o tempo (em segundos), que o dispositivo irá aceitar a entrada de outro dispositivo. Caso seja atribuído o valor 0xFF,o dispositivo irá sempre permitira a entrada. Faixa: 0 a 0xFF		
DH	Destination Address High define os 32 bits mais significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF é feito o broadcast. Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF		
DL	Destination Address Low define os 32 bits menos significativos dos 64 bits do endereço estendido de destino. Para DH=0, endereça-se para o coordenador da rede e DH=0xFFFF é feito o broadcast.		

Faixa: 0 a 0xFFFFFFF

- NI Define o nome identificador para o nó da rede (String).
- NH Define o limite de saltos. Esse limite define o número máximo de saltos em *broadcast* (BH) e determina o tempo limite de comunicação para um único destinatário que é (50\*NH+100). O tempo de 1,6 s (NH=30) é suficiente para os dados e o pacote de reconhecimento (ACK) percorrerem cerca de 8 saltos.

  Faixa: 0 a 0xFF
- BH Define o raio de transmissão para *broadcast*. Para BH=0, utiliza-se o raio máximo. Faixa: 0 a 0x1E
- AR Define os tempos entre as agregações em *broadcast* da rota. Uma agregação em *broadcast* da rota cria uma rota em todos os dispositivos da rede de volta para o dispositivo que enviou a agregação em *broadcast*. O valor de AR em 0xFF, desabilita o *broadcast* da agregação da rota e o valor em 0, envia um *broadcast*. Faixa: 0 a 0xFF \* 10 SEC
- DD Configura o valor de identificação do tipo do dispositivo, podendo ser usado para diferenciar diversos produtos baseados no *XBee*.

  Faixa: 0 a 0xFFFFFFFF
- NT Define o tempo máximo de atraso do envio da resposta do comando de descoberta de nós. Tempo máximo = NT \* 100 (ms)
  Faixa: 0x20 a 0xFF \* 100 ms
- NO Define a opção de registro para descoberta de nós. Opções: 1=Incluir o valor DD no final da descoberta, 2=Retorna o ND do próprio dispositivo. Faixa: 0 a 3
- PL Seleciona a potência de saída da transmissão. Opções: 0=-8dB, 1=-6dB, 2=-4dB, 3=-2dB, 4=0dB.
- PM Habilita a opção *boost* (impulso). Caso ativado, melhora a sensibilidade em 1dB e aumenta a potência de saída em 2dB, melhorando a conexão e o alcance.
- EE Ativar a criptografia.
- EO Seleciona a opção de criptografia. Para EO=0, Adquire ou transmite a chave de segurança não criptografada ao entrar em uma PAN, EO=1, Usa o Centro de Confiança.
- BD Seleciona a velocidade de comunicação serial (*Baud Rate*). Opções: 0=1200bps, 1=2400bps, 2=4800bps, 3=9600bps, 4=19200bps, 5=38400bps, 6=57600bps e 7=115200bps
- NB Seleciona a paridade da comunicação serial. Opções: 0=Sem paridade, 1=Par, 2=Ímpar, 3=*Mark*
- SB Seleciona o Bit de parada. Opções: 0=1 STOP BIT, 1=2 STOP BIT
- D7 Configura o pino DIO7 que pode assumir os seguintes papeis: Entrada ou saída discreta ou entrada analógica. Opções: 0=Desabilitado, 1=Controle de Fluxo CTS, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta, 6=Controle RS-485 Baixa, 7= Controle RS-485 Alta
- D6 Configura o pino DIO6 que pode assumir os seguintes papeis: Entrada ou saída discreta ou entrada analógica. Opções: 0=Desabilitado, 1=Controle de Fluxo RTS, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta
- AP Habilita o modo API. Opções: 1=API Habilitado, 2= API Habilitado com Escaping.
- AO Define o modo de registro do valor de saída API. Opções: 0=Recepção dos dados no formato nativo dos pacotes, 1=Recepção dos dados RF formatado como Explícito Indicador Rx, 3=Semelhante ao 1, acrescentado as requisições ZDO recebidas que são passadas a UART.
- SP Define o período cíclico em espera para espera remota. Configure o SP no coordenador ou roteador para corresponder com os dispositivos finais. Nos roteadores ou coordenadores, o SP determina o tempo limite de transmissão quando está enviando para um dispositivo final adormecido. O SP também define por quanto tempo irá armazenar uma mensagem para um dispositivo adormecido. Tempo = SP \* 10 ms. Faixa: 0x20 0xAF0 \* 10 ms
- SN Determina a quantidade de períodos cíclicos em espera, usado para calcular o tempo limite para o dispositivo final. Caso um dispositivo final não envie a requisição para o coordenador ou para o roteador informando o tempo limite, o dispositivo final é removido da tabela da rede. O tempo limite é calculado em milissegundos (3 \* SN \* (SP \* 10)) ms, no mínimo de 5 segundos. Ex.: Caso SN=15 e SP=0x64, o tempo limite

	vai ser de 45 segundos. Faixa: 1 - 0xFFFF		
D0	Entrada ou saída discreta, entrada analógica ou botão de comissionamento. Opções:		
	0=Desabilitado, 1=Botão de comissionamento, 2=Entrada Analógica, 3=Entrada		
	Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta		
D1	Entrada ou saída discreta ou entrada analógica. Opções: 0=Desabilitado, 2=Entrada		
	Analógica, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta		
D2	Entrada ou saída discreta ou entrada analógica. Opções: 0=Desabilitado, 2=Entrada		
	Analógica, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta		
D3	Entrada ou saída discreta ou entrada analógica. Opções: 0=Desabilitado, 2=Entrada		
	Analógica, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta		
D4	Entrada ou saída discreta. Opções: 0=Desabilitado, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital		
Σ.	Baixa, 5=Saída Digital Alta		
D5	Entrada ou saída discreta ou indicador LED de associação (pisa quando associado).		
В3	Opções: 0=Desabilitado, 1=Indicador de Associação, 3=Entrada Digital, 4=Saída		
	Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta		
P0	Entrada ou saída discreta ou saída PWM. Opções: 0=Desabilitado, 1=Saída PWM		
	RSSI, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital Baixa, 5=Saída Digital Alta		
P1	Entrada ou saída discreta. Opções: 0=Desabilitado, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital		
	Baixa, 5=Saída Digital Alta		
P2	Entrada ou saída discreta. Opções: 0=Desabilitado, 3=Entrada Digital, 4=Saída Digital		
	Baixa, 5=Saída Digital Alta		
PR	Define o uso do resistor interno de <i>pullup</i> , Opções: 0=Não faz uso do resistor interno,		
	1=Utiliza o resistor interno. Mapa dos Bits: (13)DIO7/CTS, (12)DIO11,		
	(11)DIO10/PWM0, (10)DIO12, (9)On/Sleep, (8)Associate, (7)DIN/Config, (6)Sleep_Rq,		
	(5)RTS, (4)AD0/DIO0, (3)AD1/DIO1, (2)AD2/DIO2, (1)AD3/DIO3, (0)DIO4		
	Faixa: 0 a 0x3FFF		
LT	Configura a taxa que o LED que indica associação (DIO5) irá piscar, caso D5 = 1 e o		
	módulo tenha entrado em uma rede. O valor de LT em 0, utilizará o tempo padrão, que		
	é de 500 ms.		
	Faixa: 0x0A a 0xFF * 10 (ms)		
RP	Define o tempo de registro do PWM. Configura a duração da saída do sinal PWM		
	(pulso com modulação) no pino RSSI (P6). O ciclo de trabalho do sinal é atualizado a		
	cada pacote recebido ou sinal de reconhecimento APS e é desligado quando expirar o		
	tempo.		
	Faixa: 0 a 0xFF * 100 (ms)		
IR	Define a taxa de amostrágem das entradas e saídas. Caso valor seja maior que 0,		
	todas as entradas e saídas digitais e entrada analógica ativas serão coletadas as		
	amostras e transmitidas pelo tempo estipulado pelo valor de IR em milissegundos. As		
	informações serão transmitidas para o endereço especificado no DH+DL.		
IC	Nesse campo habilita o monitoramento de cada entrada ou saída (E/S) discreta. Caso		
	ocorra uma alteração em uma E/S digital, a amostra coletada é imediatamente		
	transmitida para o endereço especificado pelo DH+DL.		

Fonte: Adaptado de RAMOS, 2012.

Faixa: 0 a 0xFFFF

escalonamento de 1024/1200. Faixa: 0 a 0x0700-0x0C00

### 3.2 Placa adaptadora XBee

V+

A placa adaptadora, Figura 7, possibilita parametrizar os módulos *XB*ee. Ela regula a tensão de alimentação da porta *Universal Serial Bus* (USB) de 5 para 3,3 VCC, que é o nível de tensão necessário para energizar o *XB*ee. A placa também

Quedas abaixo do valor, o tensão de alimentação será utilizada para amostragem de entrada/saída. A faixa de alimentação do XBee é de 2,1 a 3,6 V, após o

possui um circuito de conversão de USB para serial RS-232, onde será disponibilizada uma porta de comunicação no computador.

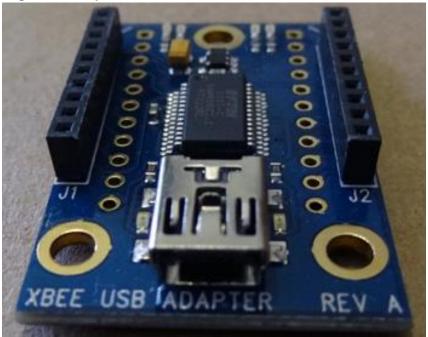


Figura 7 - Adaptador XBEE/USB.

Fonte: o Autor.

#### 3.3 Software X-CTU

O *software* da Figura 8 é provido pelo fabricante *Digi International Inc.* A versão utilizada na pesquisa foi a 5.2.7.5 32-*bits* para sistema operacional Microsoft Windows 98 SE ou superior. Ele pode ser adquirido gratuitamente pelo sítio do fabricante (DIGI INTERNATIONAL, 2008).

Esse *software* tem a finalidade de interagir com os arquivos de *firmware* encontrados nos módulos *XB*ee (DIGI INTERNATIONAL, 2008).

O manual de utilização do *software* encontra-se disponível no sítio do fabricante na seção de suporte. Esse guia apresenta informações sobre instalação, configurações, funcionamento e procedimentos como parametrizar o *firmware* dos módulos *XB*ee.

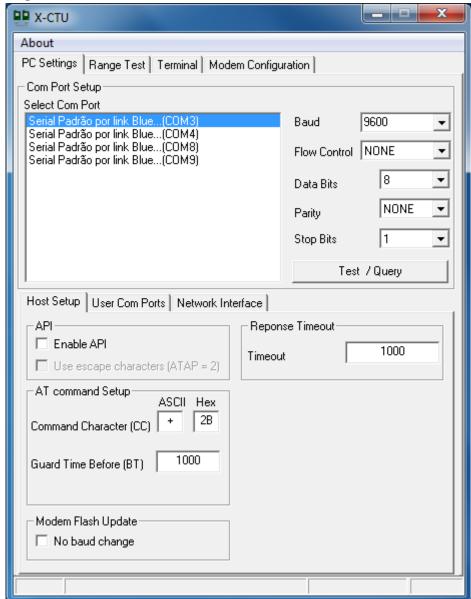


Figura 8 - Tela do software X-CTU

Fonte: o Autor.

#### 3.4 Módulo Bluetooth JY-MCU v1.2

O *Bluetooth* é uma tecnologia de comunicação simples e segura de voz e de dados sem fio de curto alcance. Um dos seus destaques é ser o substituto dos cabos nas comunicações de curta distância e disponível em bilhões de aparelhos (BLUETOOTH SIG, 2012).

As principais características do *Bluetooth* é a sua robustez, o baixo consumo de energia e baixo custo (BLUETOOTH SIG, 2012).

Por essas razões e para ter maior mobilidade, optou-se pelo *Bluetooth* para interfacear a comunicação entre a RSSF e o dispositivo móvel, através da comunicação serial, Figura 9.

Figura 9 - Módulo Bluetooth.



Fonte: o Autor.

A tecnologia *Bluetooth* opera na banda ISM (2.4 a 2.485 GHz), que está disponível na maioria dos países, usando espectro de difusão, salto de frequência e comunicação *full-duplex* (BLUETOOTH SIG, 2012), onde os dados podem ser enviados ao mesmo tempo em que outros dados estejam sendo recebidos, possuindo duas vias independentes (KNOWLEDGE transfer, [s.d.]).

O alcance depende da aplicação e um alcance mínimo é mantido pela especificação do núcleo. Os fabricantes podem fazer o ajuste do alcance de acordo com cada caso, pois ele varia de acordo com cada classe de frequência. Quanto ao alcance, o *Bluetooth* é dividido em três classes. A classe 3 possui o menor alcance, podendo chegar até 1 metro. A classe 2, encontrada nos dispositivos móveis, possui um alcance de até 10 metros. A classe 3, possui um alcance de até 100 metros, sendo utilizada na indústria (BLUETOOTH SIG, 2012).

A comunicação serial com o módulo *Bluetooth*, utilizado na pesquisa, possui a configuração padrão de fábrica especificada na Tabela 8.

Tabela 8 - Configuração de fábrica do módulo Bluetooth.

rabola o Goringaração do rabilloa do modalo Bractocari			
Parâmetro	Configuração		
Velocidade (Bound rate)	9600 bps		
Controle de fluxo (Flow control)	Nenhum (None)		
Bit de dados (Data bit)	8		
Paridade (Parity)	Nenhuma (None)		
Bit de parada (Stop bit)	1		
Nome do dispositivo	linvor		
Código PIN	1234		

Fonte: o Autor.

#### 3.5 Plataforma Android para dispositivos móveis

O Android é um sistema operacional utilizado em dispositivos móveis. A sua construção foi feita a partir do ponto zero, para permitir que programadores possam aproveitar ao máximo o potencial de um dispositivo. Além disso, o sistema é totalmente livre, por exemplo, um aplicativo pode utilizar qualquer recurso oferecido pelo núcleo do dispositivo, como realizar uma chamada ou ativar a câmera. O Android foi desenvolvido sobre o *kernel* do Linux e faz a utilização de uma máquina virtual personalizada, nomeada *Dalvik*, para otimizar o uso da memória e do *hardware* em um ambiente móvel (OPEN HANDSET ALLIANCE, 2012).

A arquitetura do sistema operacional Android, exibida na Figura 10 é fragmentada em partes (SHANKER, 2011):

- Applications, onde são desenvolvidos os aplicativos, como o de e-mail, SMS, calendário.
- Application Framework, onde os desenvolvedores possuem total acesso, fazendo o uso de ferramentas e serviços, simplificando o uso ou reuso de determinado recurso.
- 3. *Libraries* contém componentes, funcionalidades que são utilizados através do framework.
- 4. Kernel é a camada intermediária entre o hardware e o software, gerenciando o dispositivo.

Com base na pesquisa divulgada no sítio do Android, aproximadamente 83% dos dispositivos que acessaram o sistema de compras de aplicativos, o *Google Play*, possuíam a versão 2.3.3 ou superior, conforme indicado no resultado da pesquisa feita pela Google, apresentada na Tabela 9. Por serem os mais utilizados, optamos utilizar um *smartphone* com sistema operacional Android versão 2.3.4 (API 10) e um *tablet* com sistema operacional Android 4.0.3 (API 15).

O aplicativo desenvolvido para o protótipo tem a base na versão 10 do API. Portanto, dispositivos móveis com versões inferiores não serão compatíveis com o protótipo.

**Applications** Contacts Browser Home Phone **Application Framework** Activity View Manager Manager **Providers** System Notification **Package** Telephony Resource Location Manager Manager Manager Manager Manager **Android Runtime** Libraries Surface Media SQLite Libraries Core Manager Framework OpenGL | ES WebKit FreeType SGL SSL Libc **Linux Kernel** Flash Memory Binder (IPC) Display Camera Driver Driver Driver Driver Keypad WiFi Audio Power Driver Driver Management Driver

Figura 10 - Arquitetura do sistema operacional Android.

Fonte: SHANKER, 2011.

Tabela 9 - Versão do sistema dos dispositivos Android que acessaram o Google Play num período de 14 dias, finalizado em 1º de outubro de 2012.

Versão	Nome	API	Acesso
1.5	Cupcake	3	0,1%
1.6	Donut	4	0,4%
2.1	Eclair	7	3,4%
2.2	Froyo	8	12,9%
2.3 - 2.3.2	Gingerbread	9	0,3%
2.3.3 - 2.3.7		10	55,5%
3.1	Honeycomb	12	0.4%
3.2		13	1.5%
4.0.3 - 4.0.4	Ice Cream Sandwich	15	23.7%
4.1	Jelly Bean	16	1.8%

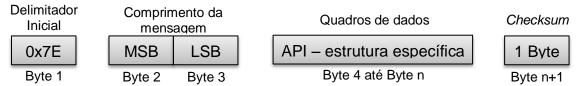
Fonte: http://developer.android.com/about/dashboards/index.html

# 4 MÉTODO DE COMUNICAÇÃO ENTRE OS DISPOSITIVOS ZIGBEE

O módulo *ZigBee* apresenta dois modos de comunicação, o modo transparente e o modo *Application Programming Interface* (API). No modo transparente os dados seriais enviados/recebidos por um módulo são transmitidos para o outro módulo, de maneira direta. Nesse modo, a comunicação é limitada a dois módulos, impedindo a estruturação de uma rede (RAMOS, 2012).

O modo API possui formato em pacotes, divididos em quatro seções, respeitando uma determinada ordem, conforme ilustrado na Figura 11 (SARIJARI, 2008). Nesse modo, os módulos interagem através de comandos, respostas e estados com os outros módulos utilizando pacotes de dados *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART) (RAMOS, 2012).

Figura 11 - Formato dos quadros de dados dos módulos ZigBee (API).



Fonte: Adaptado de SARIJARI, 2008.

A primeira parte do quadro de mensagem da Figura 11 é composto pelo delimitador inicial (0x7E), indicando o início da sequência de comandos. O próximo quadro utiliza 2 *bytes* para indicar o comprimento total da mensagem, sendo que o primeiro representa o *Byte* Mais Significativo (MSB) e o último o *Byte* Menos Significativo (LSB).

Na sequência temos os quadros de dados, que tem uma estrutura específica, composta por dois quadros, um que identifica o ID do comando API (cmdID) e o outro que identifica os dados (cmdData). O módulo adotado suporta os seguintes comandos, apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Nome e valores do pacote API.

Nome dos quadros API	Descrição	API ID (Valor hex.)
AT Command	Configura salvando ou lê um determinado parâmetro local no módulo	0x08
AT Command - Queue Parameter Value	Configura sem salvar ou lê o valor de um parâmetro local no módulo	0x09
ZigBee Transmit Request	Comando <i>ZigBee</i> que solicita uma transmissão para um determinado endereço	0x10
Explicit Addressing ZigBee Command Frame	Permite que os endpoints e cluster ID sejam especificados por um pacote de transmissão	0x11
Remote AT Command Request	Utilizado para solicitar ou configurar parâmetros de um módulo remoto usando comando AT	0x17
Create Source Route	Cria uma rota de comunicação no módulo	0x21
AT Command Response	Responde a solicitação de um comando AT	0x88
Modem Status	Retorna o status do módulo para um determinado evento	A8x0
ZigBee Transmit Status	Indica se a transmissão do último pacote foi transmitido com sucesso	0x8B
ZigBee Receiver Packet	Recebe um pacote pelas portas UART do módulo	0x90
ZigBee Explicit Rx Indicator (AO=1)	Quando o módulo recebe um pacote <i>ZigBee</i> Transmit Packet, é enviado esse pacote pela UART	0x91
ZigBee IO Data Sample Rx Indicator	São enviados pela UART os status das portas digitais e os valores da conversão analógica	0x92
XBee Sensor Read Indicator (AO = 0)	Recebe leituras dos sensores	0x94
Node Identification Indicator (AO = 0)	Recebe as identificações do módulo remoto	0x95
Remote Command Response	Recebe dados de resposta de um comando remoto	0x97
Route Record Indicator	É recebido quando o módulo envia um <i>ZigB</i> ee route record command	0xA1
Many-to-One Route Request Indicator	É enviado pela UART quando many-to-one route request command é recebido	0xA3

Fonte: DIGI INTERNATIONAL; RAMOS, 2012.

Por último, para finalizar os quadros, temos o *checksum* que é um teste de integridade dos dados, onde é feito um cálculo dos dados. O cálculo é realizado pela subtração do número 0xFF em hexadecimal, pela soma dos valores em hexadecimal dos *bytes* dos quadros de dados (API - estrutura específica) (SARIJARI, 2008).

Checksum = 
$$0xFF - \sum_{i=4}^{n} (Bytes do quadro de dados)$$

Equação 1 - Fórmula para calcular o *checksum* da mensagem. Fonte: Adaptado de SARIJARI, 2008.

Para realizar a leitura da medição da variável analógica é preciso saber o endereço de 16-*bits* do *ZigBee*, que é atribuído pelo coordenador da rede. Esse endereço é identificado na mensagem como "MY", sendo formado por dois números em hexadecimal, por exemplo, 0x5C e 0x7A.

A forma de descobrir esse endereço é enviando uma mensagem com o comando AT (0x08) e a função *Node Discover* (ND) para o coordenador da rede, que responderá com todos os dispositivos presentes em sua rede. A Tabela 11 indica o valor de cada parâmetro, que juntos formam a mensagem a ser enviada.

Tabela 11 - Comando AT para descobrir os nós na rede.

Delimitador	Taman	ho da	Comando	Frame	Funçã	~ "ND"	Checksum		
Inicial	Inicial mensagem		AT ID		Fullça	O ND	Checksum		
7E	00	04	08	01	4E	44	64		

Fonte: Adaptado de DIGI INTERNATIONAL, 2012.

Nessa pesquisa estão sendo utilizados dois módulos *ZigBee*, então nesse caso, será informada a presença desses dispositivos na rede. A Figura 12 mostra a primeira parte da resposta da requisição da Tabela 11, exibindo as informações sobre o coordenador da rede.

Figura 12 - Primeira parte da resposta do comando ND (Coordenador).

	Campos do	s Quadros	Byte	Mensagem	Descrição					
	Delimitador Inicial		0	0x7E	Começo da mensagem					
	• • •	MSB	1	0x00	Tamanho do Quadro de Dados					
	Comprimento	LSB	2	0x1C	em Bytes					
		Tipo do Quadro	3	0x88	Determina o tipo da mensagem					
		ID de Ouedre	4	004	Diferente de 0, o pacote de					
		ID do Quadro	4		resposta é esperado					
		Funcão	5	0x4E	Tipo da função requisitada, no					
		Função	6	0x44	caso a ND					
		Status	7	0x00						
		Endereço de 16-	8	0x00	O valor MY=0, indica que esse					
		bits ("MY")	9	0x00	dispositivo é o coordenador					
			10	0x00						
		Parte Alta do	11	0x13						
		Número de Série	12	0xA2						
			13	0x00	Endereço único de 64-bits					
			14	0x40	Endereço driico de 04-bits					
API		Parte Baixa do	15	0x48						
		Número de Série	16	0x95						
PACOTE			17	0x94						
Ö			18	0x42	Identificador do nó por um					
¥	Quadro de Dados	Identificador do	19	0x41	nome, bastando converter cada					
_		Nó (NI) da rede	20	0x53	Byte para caractere com ajuda					
		ito (iti) da reac	21	0x45	da tabela ASCII. Nesse caso					
			22	0x00	resultará a palavra "BASE"					
		Parent Network	23	0xFF	Endereço 0xFFFE de					
		Address	24	0xFE	boradcast.					
		Tipo Dispositivo	25	0x00	Valor 0=Coordenador,					
		· ·			1=Roteador, 2=Dispositivo Final 0 = Sem falha					
					0 = Sem rama 1 = Erro					
		Status do			2 = Comando Inválido					
		comando	26	0x00	3 = Parâmetro Inválido					
		Comando			4 = Falha na Transmissão do					
					Comando Remoto					
			27	0xC1	Representa o perfil do					
		ID do Perfil	28	0x05	dispositivo					
		15 1 5 1 1	29	0x10	Identifica o fabricante do					
		ID do Fabricante	30	0x1E	módulo <i>ZigBee</i>					
	Checksum		31	0x02	Teste de integridade dos dados					
	nta : Adamtada da D	IOLINITEDNIATION								

Fonte: Adaptado de DIGI INTERNATIONAL, 2012.

A Figura 13 expõe a segunda parte da resposta, com as informações do módulo remoto, dispositivo final.

Figura 13 - Segunda parte da resposta do comando ND (Dispositivo Final).

	Campos do	s Quadros	Byte	Mensagem	Descrição				
	Delimitador Inicial	·	0	0x7E	Começo da mensagem				
	• • •	MSB	1	0x00	Tamanho do Quadro de Dados				
	Comprimento	LSB	2	0x1F	em Bytes				
		Tipo do Quadro	3	0x88	Determina o tipo da mensagem				
					Diferente de 0, o pacote de				
		ID do Quadro	4	0x01	resposta é esperado				
		F	5	0x4E	Tipo da função requisitada, no				
		Função	6	0x44	caso a ND				
		Status	7	0x00					
		Endereço de 16-	8	0x13	O valor MY=0, indica que esse				
		bits ("MY")	9	0x5C	dispositivo é o coordenador				
			10	0x00					
		Parte Alta do	11	0x13					
		Número de Série	12	0xA2					
			13	0x00	Endereço único de 64-bits				
			14	0x40	Lildereço dilico de 04-bits				
		Parte Baixa do	15	0x32					
API		Número de Série	16	0x1B					
			17	0x58					
PACOTE			18	0x52					
Ö			19	0x45	Identificador do nó por um				
A	Quadro de Dados	Identificador do Nó (NI) da rede	20	0x4D	nome, bastando converter cada				
4			21	0x4F	Byte para caractere com ajuda				
			22	0x54	da tabela ASCII. Nesse caso,				
			23	0x4F	resultará a palavra "REMOTO"				
			24	0x00					
		Parent Network	25	0x00	Endereço 0x0000 corresponde				
		Address	26	0x00	o coordenador da rede.				
		Tipo Dispositivo	27	0x02	Valor 0=Coordenador,				
					1=Roteador, 2=Dispositivo Final				
					0 = Sem falha				
		Status de			1 = Erro				
		Status do comando	28	0x00	2 = Comando Inválido 3 = Parâmetro Inválido				
		Comando			4 = Falha na Transmissão do				
					Comando Remoto				
			20	0xC1	Representa o perfil do				
		ID do Perfil	30	0x05	dispositivo				
			31	0x03	Identifica o fabricante do				
		ID do Fabricante	32	0x10 0x1E	módulo <i>ZigBe</i> e				
	Checksum		33	0xTE 0xEF	Teste de integridade dos dados				
	CHECKSUIII		- 55	UALI	reste de integridade dos dados				

Fonte: Adaptado de DIGI INTERNATIONAL, 2012.

Após a resposta da função ND, o endereço MY de 16-bits do dispositivo final, atribuído pelo coordenador, é conhecido. Com base nisso, a mensagem de requerimento remoto do valor lido pela porta analógica pode ser formada. A Figura 14 mostra a sequência dos valores em hexadecimal.

Figura 14 - Comando para efetuar a leitura da entrada analógica do dispositivo remoto.

D.I.	Tam da I	anho Visg.	Tipo Pacote	F. ID		Endereço 64-bits				MY - 16-	End. bits	Aplicar Mudanças	Fun "IS	ção S"	Checksum			
7E	00	0F	17	01	00	13	A2	00	40	32	1B	58	E9	22	02	49	53	A4

Figura 15 - Resposta da requisição da leitura da entrada analógica.

D.I.			Tipo Pacote	F. ID		E	nde	reço	64	64-bits			bits		Aplicar Mudanças		•	Status do Comando
7E	00	15	97	01	00	13	A2	00	40	32	1B	58	E9	22	02	49	53	00
	Dados Checksum																	
01	00	00	01	02	E5		3D											

Fonte: o Autor.

O valor lido pela porta analógica é indicado nos dois últimos *bytes* dos dados, como ilustrado na Figura 15 o valor 02E5<sub>16</sub>. Convertendo esse valor para a base decimal, o valor 741<sub>10</sub> é encontrado. Para convertermos esse valor em nível de tensão lido pela porta analógica é necessário jogar esse valor na Equação 2, onde 1200<sub>10</sub> ou 3FF<sub>16</sub> mV é o nível de referencia de valor máximo de tensão e 1024 é a resolução da porta analógica que é de 10-*bits*.

$$A/D(mV) = \frac{Valor * 1200}{1024}(mV)$$

Equação 2 - Equação para converter valor da entrada analógica em mV. Fonte: RAMOS. 2012.

Fazendo os cálculos necessários do valor obtido pela resposta da Figura 15 utilizando a Equação 2, teremos aproximadamente 868,38 mV no pino da entrada analógica. Então podemos concluir que a leitura da medida em porcentagem é de 72,36%.

#### 5 METODOLOGIA APLICADA

A metodologia aplicada para o mecanismo de telemetria foi a construção de um protótipo com o monitoramento de uma variável analógica, temperatura, através de um dispositivo móvel. A comunicação entre os dois pontos foi estabelecida por uma RSSF. Devido a mesma ter um baixo consumo de energia, um bom alcance e a possibilidade de formar uma rede. O protocolo adotado foi *ZigBee*, com módulo *XBee*, escolha feita devido a facilidade de aquisição.

A RSSF do protótipo é composta por dois módulos *XBee* PRO S2B, Figura 16. Um dos módulos foi parametrizado com o perfil de coordenador de rede e o outro módulo como dispositivo final, onde foi lida a medição da temperatura.



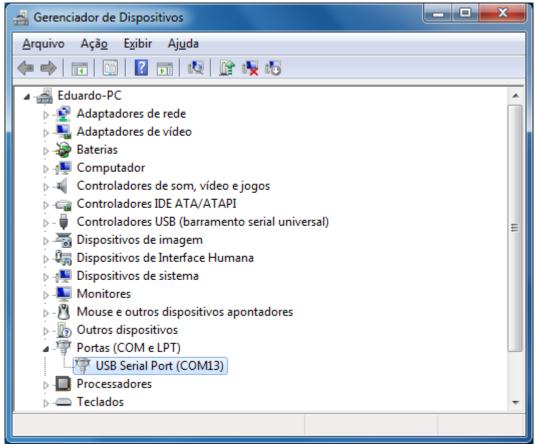
Figura 16 - Módulo XBee Pro Série 2 utilizado do projeto.

Fonte: o Autor.

Para leitura e gravação da parametrização dos módulos foi utilizada uma placa adaptadora, Figura 7. Essa placa permite a conexão entre o *XB*ee e o microcomputador, através da porta de comunicação USB.

Ao conectar a placa adaptadora na porta USB, ela foi identificada pelo Gerenciador de Dispositivos do sistema operacional *Microsoft Windows*, na seção de Portas, nomeada como *USB Serial Port*, como destacado na Figura 17.

Figura 17 - Porta de comunicação serial do ZigBee.



Fonte: o Autor.

O software X-CTU foi utilizado para a configuração e parametrização dos módulos. Para estabelecer a comunicação serial, foi necessário entrar com os parâmetros de configuração de comunicação dos módulos XBee, Tabela 5.

Para certificar os valores da configuração de comunicação entre o microcomputador e o módulo *XBee*, na aba *PC Settings* do *software* X-CTU, foi utilizada a função de teste (*Test / Query*).

Essa função além de constatar o estabelecimento de comunicação entre o microcomputador e o módulo, ela retorna uma janela indicando o tipo, a versão do *firmware* e o número de série do módulo, como ilustrado na Figura 18.

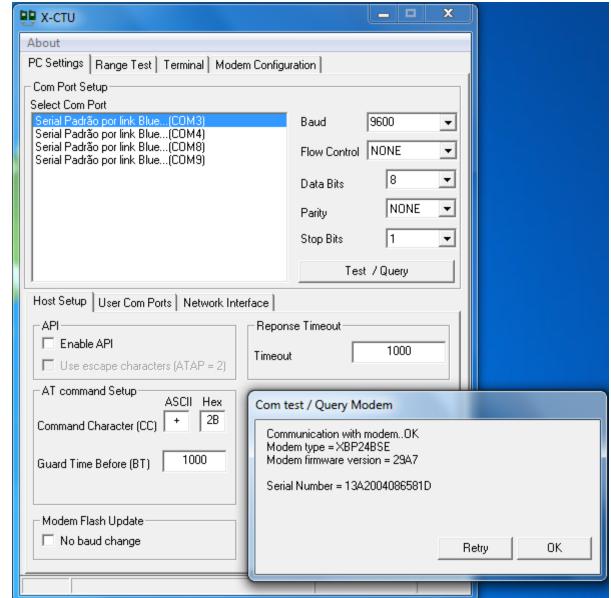


Figura 18 - Teste de comunicação serial entre o computador e o módulo ZigBee.

A configuração dos parâmetros de funcionamento do módulo *XBee* foi realizada na aba *Modem Configuration*, Figura 19. Nessa etapa foi configurada a RSSF do módulo coordenador e dispositivo final, como também estabelecido o pino que receberá a informação do valor medido pelo sensor da temperatura.

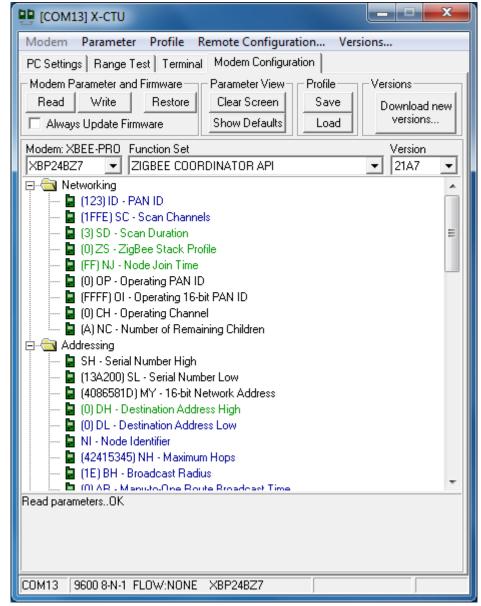


Figura 19 - Tela do software configurador do ZigBee, X-CTU.

Fonte: o Autor

O passo seguinte foi configurar o módulo dispositivo final, selecionando o modelo XBP24B7, a função *ZIGBEE END DEVICE API* e a versão do *firmware* 29A7. Em seguida, foi utilizada a Tabela 12 para parametrizar o módulo que vai assumir o papel de dispositivo final. Logo após, foi configurado o módulo coordenado, selecionando o mesmo modelo, versão 21A7, com a função *ZIGBEE COORDINATOR API* e utilizando a Tabela 13.

Tabela 12 - Parâmetros para o módulo XBee como dispositivo final.

Parâmetro	Valor Utilizado	Parâmetro	Valor Utilizado
ID	123	AP	1
SC	1FFE	AO	0
SD	3	SM	4
ZS	0	ST	1388
NJ	FF	SP	20
JN	0	SN	1
DH	0	SO	0
DL	0	PO	0
NI	REMOTO	D0	2
NH	1E	D1	0
BH	0	D2	0
DD	3000	D3	0
NT	3C	D4	0
NO	2	D5	1
PL	4	P0	1
PM	1	P1	0
EE	0	P2	0
EO	0	PR	1FFF
BD	3	LT	0
NB	0	RP	28
SB	0	IR	0
D7	1	IC	0
D6	0	V+	0

Fonte: Adaptado de RAMOS, 2012.

Tabela 13 - Parâmetros para o módulo XBee como coordenador.

Tubcia io i c	•											
Parâmetro	Valor Utilizado	Parâmetro	Valor Utilizado									
ID	123	D7	1									
SC	1FFE	D6	0									
SD	3	AP	1									
ZS	0	AO	0									
NJ	FF	SP	20									
DH	0	SN	1									
DL	FFFF	D0	1									
NI	BASE	D1	0									
NH	1E	D2	0									
BH	0	D3	0									
AR	FF	D4	0									
DD	3000	D5	1									
NT	3C	P0	1									
NO	2	P1	0									
PL	4	P2	0									
PM	1	PR	1FFF									
EE	0	LT	0									
EO	0	RP	28									
BD	3	IR	0									
NB	0	IC	0									
SB	0	V+	0									

Fonte: Adaptado de RAMOS, 2012.

Após o término das configurações dos módulos, eles foram alocados em seus devidos circuitos.

Para a alimentação do módulo dispositivo final foi utilizada uma bateria de 9 VCC, atestando o baixo consumo de energia do circuito. A Figura 20 exemplifica

outra possibilidade de alimentação, uma placa com célula fotovoltaica. Essa placa possui uma dimensão de 125 x 63 x 3,4 mm, com saída máxima de 6 VCC e potência máxima de saída de 1 W, resultando em uma corrente de aproximadamente de 167 mA. Com a utilização da energia solar, esse circuito do protótipo teve a sua autonomia ampliada, trazendo opções simples e de baixo custo para o seu funcionamento.



Figura 20 - Circuito dispositivo final sendo alimentado por energia solar.

Fonte: o Autor.

Para fazer a integração entre o *XBee* com função de coordenador e o dispositivo móvel, optou-se pela utilização do módulo *Bluetooth*. Ele apresenta uma configuração de fábrica, Tabela 8, onde os parâmetros "Nome do dispositivo" e "Código PIN" foram alterados para aumentar a segurança de acesso.

O circuito ilustrado pela Figura 21 foi criado para alterar alguns parâmetros da configuração padrão, permitindo a comunicação entre o computador e o módulo. O circuito integrado MAX232 foi utilizado para converter o nível de tensão *Transistor-Transistor Logic* do módulo Bluetooth para os níveis de tensão da porta de comunicação serial RS-232 do microcomputador.

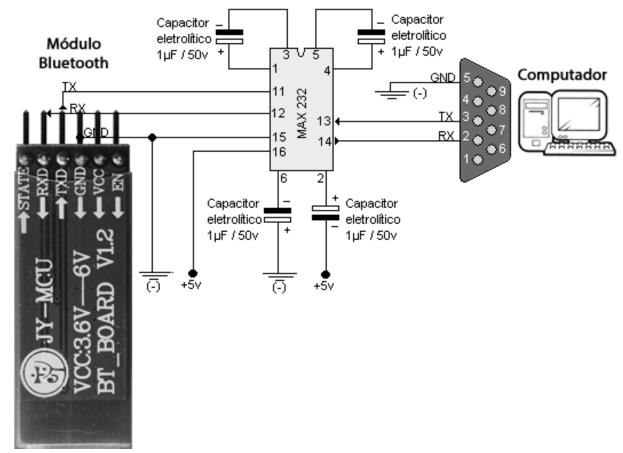


Figura 21 - Esquema de ligação entre o módulo *Bluetooth* e o computador.

O circuito foi conectado ao computador na porta serial, estabelecendo conexão entre o *software* PuTTY, Figura 22, e o módulo *Bluetooth*. Para isso foram inseridas as configurações padrões da Tabela 8 no *software*, disponibilizando a tela de comandos no terminal.

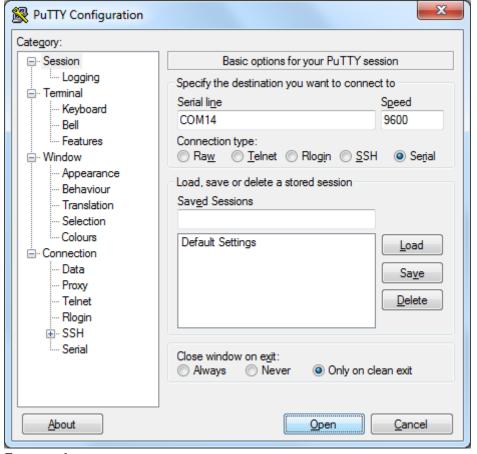


Figura 22 - Tela do software PuTTY para configuração do módulo Bluetooth.

Antes de iniciar as alterações dos comandos da configuração padrão do módulo *Bluetooth*, foi realizado um teste de comunicação, através do comando "AT". Estabelecida a comunicação, na tela aparece a palavra "OK". Então, foram alterados os parâmetros "Nome do dispositivo" com a seguinte sequência: "AT+NAMExxxx", onde xxxx é o novo nome para o módulo. O nome tem limite de 20 caracteres e a resposta indicando que a alteração foi realizada é "OKsetname".

Outro parâmetro alterado foi o "Código PIN", senha requerida ao tentar fazer o pareamento com o módulo. Para a alteração, foi utilizada a sequência: "AT+PIN1234", onde 1234 é a nova senha, composta por quatro elementos numéricos. Realizando a alteração, o módulo retorna a mensagem "OKsetPIN".

A sequência de comandos utilizadas no terminal para fazer as alterações foram as seguintes:

- 1) AT
- 2) AT+NAMEUFTM\_ZigBee
- 3) AT+PIN5678

Na Figura 23 é possível observar a resposta do módulo para cada um dos comandos acima inseridos. Resultamos com o módulo com nome "UFTM\_ZigBee" e o código PIN de pareamento com o dispositivo para "5678".

Figura 23 - Tela de resposta dos comandos.



Fonte: o Autor.

Para comunicar com o módulo *Bluetooth* foi necessário realizar o pareamento através do dispositivo móvel com os parâmetros alterados acima. Com a conexão estabelecida, os comandos para realizar a leitura da temperatura, foram feitos através de um aplicativo para sistema operacional Android, utilizando a biblioteca específica para *Bluetooth*.

O ambiente para programação de aplicativos para Android é composto por ferramentas disponibilizadas pela Google. Através do *Android SDK Manager*, Figura 24, foi possível instalar o pacote de ferramentas para desenvolvimento de aplicativos para a versão 2.3.3 do Android.

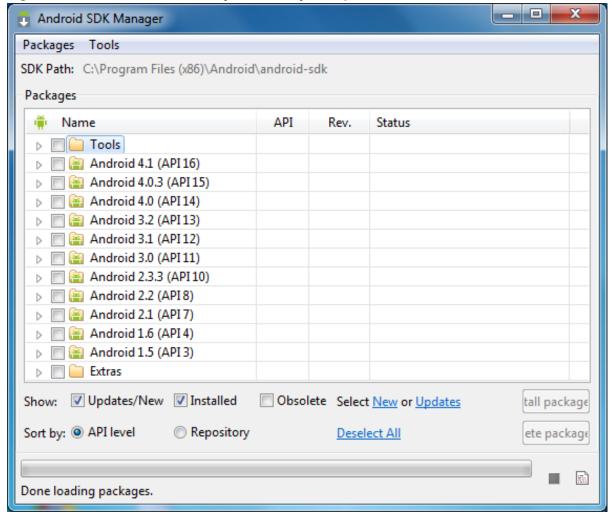


Figura 24 - Gerenciador de instalação/atualização de pacotes de desenvolvimento.

O aplicativo do protótipo foi desenvolvido pelo *software* Eclipse SDK versão 4.2.0 com o complemento *Android Developer Tools* (ADT) versão 20.0.3, que permite a utilização das ferramentas da versão 2.3.3 do Android instaladas previamente pelo *Android SDK Manager*. O ambiente de desenvolvimento pode ser visualizado pela Figura 25.

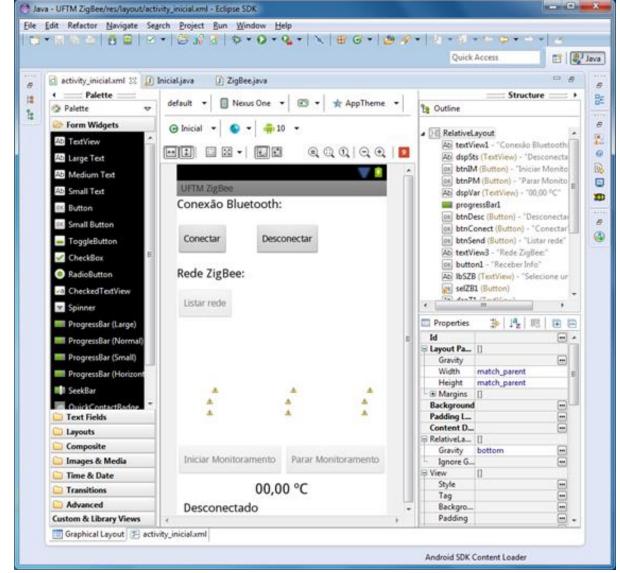


Figura 25 - Software Eclipse, ambiente de programação para Android.

Com o ambiente de desenvolvimento instalado, foi estruturada a tela do aplicativo, definindo botões, o espaço para monitoramento da variável a ser analisada e a disposição de cada objeto. O *layout* da tela possui um código em XML que pode ser conferido no ANEXO B. Para o funcionamento do protótipo, foram desenvolvidos os seguintes botões:

- Botão Conectar: responsável por estabelecer a comunicação entre o dispositivo móvel e o módulo *Bluetooth*;
- Botão Desconectar: possui o papel de romper a conexão Bluetooth e sair da aplicação;

- Botão Listar Rede: realiza a pesquisa na rede do coordenador para listar todos os módulos *XBee* conectados. Para cada dispositivo encontrado na rede é exibido um botão para fazer a seleção desse determinado módulo;
- Botão Iniciar Monitoramento: Envia uma mensagem para o coordenador, de forma cíclica, requisitando o valor da leitura da porta de entrada analógica. O valor recebido é tratado por linhas de comando, convertendo-o em temperatura e exibindo esse resultado na tela;
- Botão Parar Monitoramento: rompe o processo cíclico de requerimento do valor medido pelo sensor de temperatura.

Com os botões definidos, foram implementados os códigos que darão ação aos botões e a função que atualizará ciclicamente o valor da variável monitorada, conforme código do ANEXO A.

O comportamento da lógica desenvolvida pode ser acompanhado pelo fluxograma da Figura 26.

A lógica é composta pela verificação da existência do módulo *Bluetooth* no dispositivo móvel e da certificação se ele está habilitado.

Na sequência, o botão "Conectar" é pressionado para firmar a conexão Bluetooth entre o dispositivo móvel e o circuito do módulo coordenador da RSSF. Após a conexão estabelecida, é necessário listar os módulos XBee conectados ao coordenador da rede, utilizando o botão "Listar Rede".

Os dispositivos irão aparecer na tela no formato de um botão para serem escolhidos. Selecionado o módulo a ser monitorado, fica faltando apenas pressionar o botão "Iniciar monitoramento" para que o valor da variável comece a ser monitorado.

O dispositivo móvel ficará requisitando o valor da variável do processo a cada segundo, e esse processo continuará até que o usuário interrompa o monitoramento, utilizando o botão "Parar Monitoramento".

Assim que o monitoramento for interrompido, para finalizar a aplicação é necessário desconectar do módulo Bluetooth, clicando no botão "Desconectar". Assim que a conexão for desfeita, o aplicativo é finalizado.

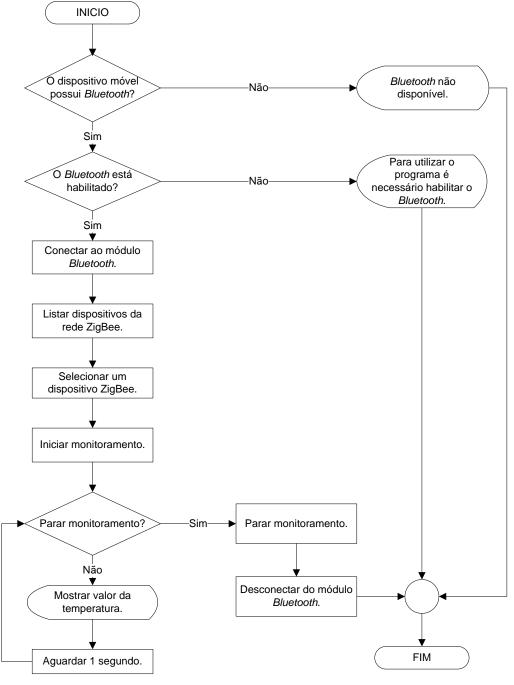


Figura 26 - Fluxograma de operação do aplicativo

Durante o desenvolvimento do aplicativo foi necessário realizar depurações, testando o funcionamento da lógica utilizada. Para esse fim, foi adotada a opção de realizar esse procedimento diretamente em um dispositivo, Figura 27.

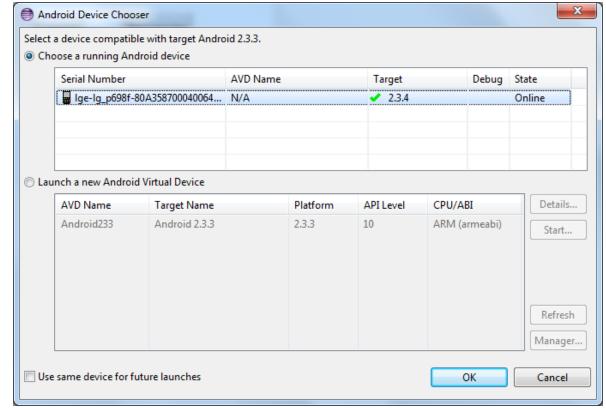


Figura 27 - Tela para seleção do dispositivo para depuração.

Para que o dispositivo móvel fosse listado na janela de opções da Figura 27, foi necessário instalar no microcomputador o *driver* do dispositivo, arquivos necessários para o funcionamento. Além disso, a seleção do item "Depuração de USB" que se encontra dentro da opção "Desenvolvimento" das definições do dispositivo móvel foi necessário.

Feita essas configurações, ao compilar o aplicativo, o *software* Eclipse transferiu a aplicação diretamente para o dispositivo móvel que se encarregou de fazer a instalação. Ao concluir a instalação, o aplicativo foi executado automaticamente para a realização dos testes que foram feitos em um *smartphone* com sistema operacional Android versão 2.3.4 (API 10).

O modo de comunicação API foi adotado nos módulos *ZigBee* dessa pesquisa. Enviando o comando "AT" com função "ND" foi informada que rede é composta por dois módulos *ZigBee*.

Com a posse das informações sobre os módulos da rede, foi possível formar a mensagem para a aquisição do valor da variável em análise, no caso temperatura, utilizando o PT-100.

Para encontrar a função característica do processo foram feitos três ensaios, o primeiro com a temperatura ambiente, o segundo com a temperatura próxima a zero e o terceiro ensaio com a temperatura próxima a 100 °C, utilizando uma recipiente com água e gelo e outro com a água em ebulição, respectivamente. Os ensaios foram realizados em um ambiente aberto. A resistência do sensor que é medida em Ohms varia de acordo com a temperatura, conforme Tabela 14.

Tabela 14 - Relação de algumas temperaturas pelo valor de resistência do sensor PT-100.

°C	Ohms	°C	Ohms	°C	Ohms	°C	Ohms	°C	Ohms
0	100,00	25	109,73	50	119,40	75	128,98	100	138,50
1	100,39	26	110,12	51	119,78	76	129,37	101	138,88
2	100,78	27	110,51	52	120,16	77	129,75	102	139,26
3	101,17	28	110,90	53	120,55	78	130,13	103	139,64
4	101,56	29	111,28	54	120,93	79	130,51	104	140,02
5	101,95	30	111,67	55	121,32	80	130,89	105	140,39
6	102,34	31	112,06	56	121,70	81	131,27	106	140,77
7	102,73	32	112,45	57	122,09	82	131,66	107	141,15
8	103,12	33	112,83	58	122,47	83	132,04	108	141,53
9	103,51	34	113,22	59	122,86	84	132,42	109	141,91
10	103,90	35	113,61	60	123,24	85	132,80	110	142,29
11	104,29	36	113,99	61	123,62	86	133,18	111	142,66
12	104,68	37	114,38	62	124,01	87	133,56	112	143,04
13	105,07	38	114,77	63	124,39	88	133,94	113	143,42
14	105,46	39	115,15	64	124,77	89	134,32	114	143,80
15	105,85	40	115,54	65	125,16	90	134,70	115	144,17
16	106,24	41	115,93	66	125,54	91	135,08	116	144,55
17	106,63	42	116,31	67	125,92	92	135,46	117	144,93
18	107,02	43	116,70	68	126,31	93	135,84	118	145,31
19	107,40	44	117,08	69	126,69	94	136,22	119	145,68
20	107,79	45	117,47	70	127,07	95	136,60	120	146,06
21	108,18	46	117,85	71	127,45	96	136,98	121	146,44
22	108,57	47	118,24	72	127,84	97	137,36	122	146,81
23	108,96	48	118,62	73	128,22	98	137,74	123	147,19
24	109,35	49	119,01	74	128,60	99	138,12	124	147,57

Fonte: INTECH INSTRUMENTS, [s.d.].

No primeiro ensaio, temperatura ambiente, a leitura da resistência do sensor foi o valor de 112,60  $\Omega$ , que corresponde aproximadamente a temperatura de 32,40  $^{\circ}$ C. Nesse momento, o valor da porta analógica transmitido pelo *XB*ee foi 288<sub>16</sub> que corresponde a 648<sub>10</sub>.

No segundo ensaio, com o auxílio de um recipiente contendo água com gelo, a leitura da resistência do sensor foi de 101  $\Omega$ , que corresponde aproximadamente a

temperatura de 2,50 °C. Nesse momento, o valor da porta analógica transmitido pelo *XB*ee foi 244<sub>16</sub>, que corresponde a 580<sub>10</sub>.

No terceiro ensaio, com o auxílio de um recipiente com água em ebulição, a leitura da resistência do sensor foi de 137,9  $\Omega$ , que corresponde aproximadamente a temperatura de 98,50  $^{\circ}$ C. Nesse momento, o valor da porta analógica transmitido pelo *XBee* foi 798<sub>16</sub>, que corresponde a 1944<sub>10</sub>.

Nos três ensaios a resistência do sensor PT-100 foi aferida com a utilização de um multímetro Minipa modelo ET-2231.

Com base nesses três resultados, foi elaborado um gráfico com linha de tendência, utilizando uma planilha eletrônica, representado na Figura 28. Através da reta formada pelos três pontos, foi feito uma linearização, deduzindo a Equação 3. Com essa fórmula, de acordo com o valor recebido pelo *XBee*, é encontrada a temperatura correspondente.

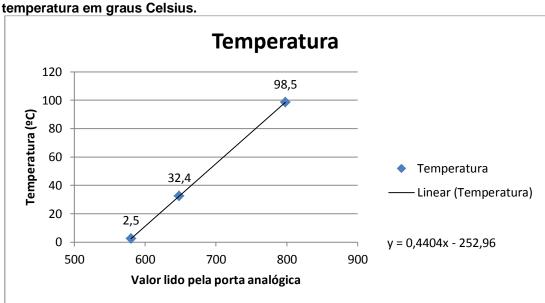


Figura 28 - Gráfico com linha de tendência linear do valor transmitido pelo XBee pela temperatura em graus Celsius.

Fonte: o Autor.

$$y = 0.4404 * x - 252.96 (°C)$$

Equação 3 - Equação para encontrar a temperatura lida pela porta analógica do *ZigB*ee. Fonte: o Autor.

A Figura 29 mostra o circuito do protótipo montado. O módulo dispositivo final possui um sensor que fornece a medida da temperatura. Esse módulo faz a leitura do sinal enviado pelo amplificador operacional, converte o sinal analógico para

digital e na sequência transmite a informação para o módulo base, que é o coordenador da RSSF. Por sua vez, esse módulo envia para o módulo *Bluetooth* os dados requisitados ao módulo remoto, através da comunicação serial. Ao módulo *Bluetooth*, um dispositivo móvel está pareado, recebendo as informações de forma serial. O aplicativo desenvolvido em Android realiza o tratamento da informação recebida e a exibe no visor do dispositivo.



Figura 29 - Circuito do protótipo utilizado.

Fonte: o Autor.

## 6 PROTÓTIPO DE TELEMETRIA UTILIZANDO DISPOSITIVO MÓVEL

Como resultado obtivemos a montagem de um protótipo para monitoramento de uma variável utilizando um dispositivo móvel. Esse protótipo é formado por um circuito que possui o módulo *XB*ee coordenador da RSSF, outro circuito com o módulo *XB*ee dispositivo final, onde é feita a coleta do valor da variável e um aplicativo para Android.

Na Figura 30 está representado o circuito eletrônico que fez a interface entre o módulo *XB*ee e o dispositivo móvel. Ele é composto por:

- Regulador de tensão para 5 VCC (LM7805);
- Regulador de tensão para 3,3 VCC (LM1117);
- Capacitor eletrolítico de 100 μF;
- Módulo de comunicação Bluetooth;
- Módulo XBee (XBP24B7);
- Bateria de 9 VCC.

Figura 30 - Circuito placa de interface *Bluetooth* e XBee Coordenador.

Fonte: o Autor.

A Figura 31 exibe o circuito da Figura 30 montado em uma placa de fenolite universal, que apresenta ilhas individuas, onde os componentes foram alocados.

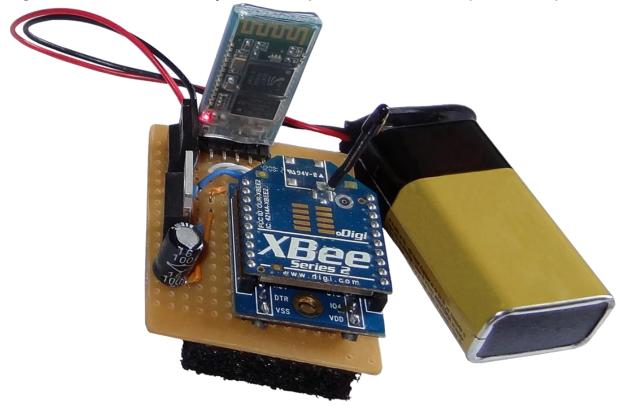


Figura 31 - Módulo de comunicação entre o dispositivo móvel e a RSSF (Coordenador).

O segundo circuito, Figura 32, é responsável pela conversão do valor analógico da temperatura medido pelo PT-100 em um valor digital, que será transmitido pela RSSF. Esse circuito é composto por:

- Regulador de tensão para 5 VCC (LM7805);
- Regulador de tensão para 3,3 VCC (LM1117);
- Capacitor eletrolítico de 100 μF e outro de 1 μF;
- Circuito Integrado MCP609, com 4 amplificadores operacionais;
- Módulo XBee (XBP24B7);
- Light-emitting Diode (LED) verde;
- Borner com 3 terminais;
- Resistores de 5k, 4,7k, 540 e 270 ohms.

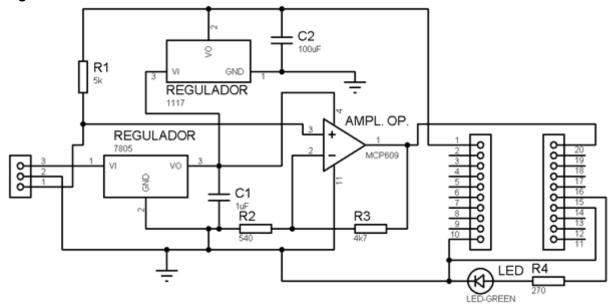


Figura 32 - Circuito de leitura do PT100 e transmissão.

A conexão dos terminais do borner foi executada ligando a fonte que alimenta o circuito no terminal 2 e 3. Onde o 3 é o positivo e o 2 é o negativo, aceitando na entrada o valor máximo de tensão de 25 VCC. A ligação do sensor PT-100 é feita pelos terminais 2 e 1.

O LED presente nesse circuito está ligado ao pino de indicador de associação do módulo do *XBee*, permanecendo piscando na frequência configurada quando o módulo está associado a uma RSSF.

A Figura 33 mostra o circuito de leitura da temperatura pronto e em funcionamento, enviando o valor medido para o módulo da Figura 31.



Fonte: o Autor.

O aplicativo elaborado para o monitoramento da variável através de uma RSSF foi testado em dois dispositivos móveis.

O primeiro, um *smartphone*, Figura 34, cuja versão do sistema operacional Android é a 2.3.4 (*Gingerbread*).





Fonte: o Autor.

O segundo dispositivo, um *tablet*, Figura 35, com sistema operacional Android 4.0.3 (*Ice Cream Sandwich*).

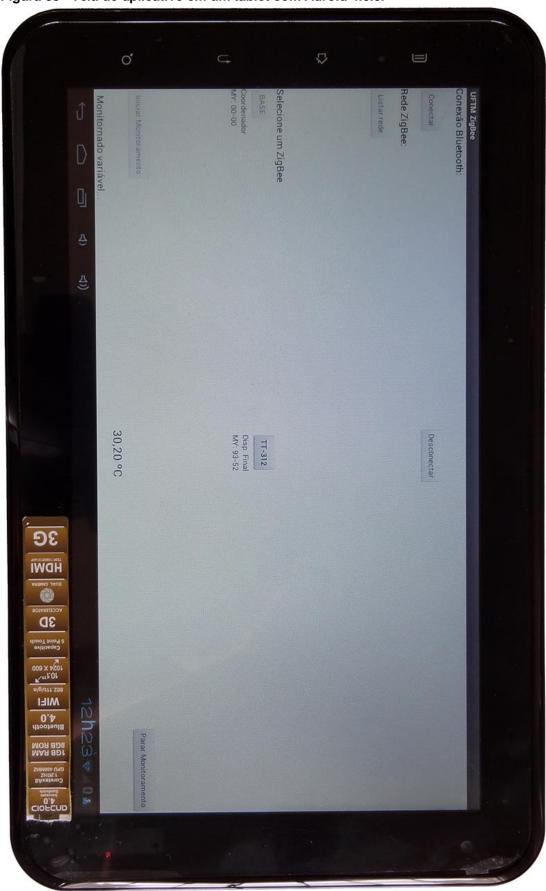


Figura 35 - Tela do aplicativo em um tablet com Adroid 4.0.3.

### 7 CONCLUSÃO

Com base nos resultados da pesquisa, podemos concluir que o objetivo da pesquisa foi alcançado. Ficou demostrado que é possível utilizar as RSSF para monitoração de variáveis, como a temperatura, com uso interativo de um dispositivo móvel, *smartphone* ou *tablet*, de modo prático, seguro, eficaz e de baixo custo, o que torna o protótipo viável.

Os testes com o protótipo foram realizados em ambiente aberto e com valor real de medição, utilizando um sensor de processos industriais, resultando um ambiente semelhante à realidade presente na indústria.

A fonte de alimentação de corrente contínua do circuito foi diversificada, utilizando bateria ou energia solar. Mostrando com essas possibilidades, que o dispositivo apresenta maior possibilidade de alocação, conforme a necessidade do processo, de modo simples e de baixo custo.

A utilização do *Bluetooth* entre o dispositivo móvel e o coordenador da RSSF, foi determinante para a flexibilidade do uso do protótipo com diversos fabricantes e diversos tipos de dispositivos móveis. Além disso, proporcionou maior segurança na comunicação com o processo industrial, porque pessoas que estão distantes do local não conseguirão tentar interceptar o sinal e fazer o uso indevido das informações.

No caso das RSSF, elas oferecem segurança aos dados e ao sistema, criptografando os dados trafegados e restringindo interações indesejáveis, através algoritmo de segurança de entrada de dispositivos na rede.

Uma vez que os valores medidos do processo foram recebidos pelo dispositivo móvel, esses dados poderão ser armazenados e acessados por outros equipamentos para uma futura análise. Através da internet, o envio dessas informações para um servidor também é possibilitada, alimentando um banco de dados para acompanhamento de outros setores.

A arquitetura do protótipo foi projetada com os materiais apresentados com o intuito de possibilitar a expansão de pontos de medição, por se tratar de uma rede. Além disso, pela segurança e praticidade de monitoramento, utilizou-se um dispositivo móvel como interface, aparelho de uso cotidiano na atualidade.

Por permitir a sua instalação em locais de difícil acesso, apresentar mobilidade, flexibilidade de uso em diversos equipamentos, consumir baixa energia,

acredita-se que o protótipo tenha aceitação no mercado. Ele consiste em um equipamento para auxilio no acompanhamento e na manutenção de processos industriais, apresentando grande abrangência de uso, com segurança, confiabilidade e economia.

#### 8 TRABALHOS FUTUROS

Alcançado o objetivo da pesquisa, diante do protótipo e dos resultados encontrados, chegou-se a conclusão que existem outras possibilidades de pesquisas envolvendo o conteúdo dessa dissertação.

Vislumbrando que se trata de um assunto novo, algumas pesquisas envolvendo o assunto ainda não foram exploradas, abrindo a possibilidade de novos trabalhos. Assim sugere-se:

- Análise do sinal da RSSF, englobando um levantamento das possíveis interferências e dificuldade da propagação do sinal pelas barreiras físicas e o que poderia ser feito para neutralizar ou amenizar esses problemas;
- Identificar o comportamento da RSSF à medida que o número de nós (dispositivos) vai aumentado de acordo com cada topologia;
- Ampliar a funcionalidade do protótipo, integrando ao sistema de monitoramento de variável a possibilidade de atuar no sistema, por exemplo, acionando e lendo sinais discretos;
- Possibilitar a calibração e a parametrização dos sensores utilizando dispositivos móveis com sistema Android;
- Armazenamento e envio dos dados a um banco de dados de um servidor através do dispositivo móvel utilizando a Internet.

Estes foram alguns aspectos relevantes levantados durante o desenvolvimento e a conclusão da pesquisa e do protótipo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al AGHA, K. et al. Which wireless technology for industrial wireless sensor networks? The Development of OCARI Technology. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, Orsay, v. 56, n. 10, p. 4266-78, Oct. 2009.

BARONTI, P. et al. Wireless sensor networks: a survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. **Computer communications**, [S.I.], v. 30, n. 7, p. 1655-95, May 2007.

BILGIN, B. E.; GUNGOR, V. C. Performance evaluations of ZigBee in different smart grid environments. **Computer Networks**, [S.I.], v. 56, n. 8, p. 2196-205, May, 2012.

BLUETOOTH sig. Disponível em: <a href="http://www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx">http://www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx</a>. Acesso em: 23 set. 2012.

DIGI INTERNATIONAL. **XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules**: manual. Minnetonka, 2012. 154 p. Disponível em: <a href="http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976\_K.pdf">http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976\_K.pdf</a>>. Acesso em: 14 ago. 2012.

DIGI INTERNATIONAL. **X-CTU Configuration & Test Utility Software**: manual. 2008. 16 p. Disponível em: <ftp://ftp1.digi.com/support/documentation/90001003\_a.pdf>. Acesso em: 13 out. 2008.

ERGEN, S. C. **ZigBee/IEEE 802.15.4 summary**. Sep. 2004. 37 p. Disponível em: <a href="http://www.sinemergen.com/zigbee.pdf">http://www.sinemergen.com/zigbee.pdf</a>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

HASEGAWA, T. et al. Industrial wireless standardization: scope and implementation of ISA SP100 standard. In: SICE ANNUAL CONFERENCE (SICE), 2011, Tokyo. In: **Proceedings...** New York: IEEE Conference Publications, 2011. p. 2059-64.

HAYASHI, H.; HASEGAWA, T.; DEMACHI, K. Wireless technology for process automation. In: ICCAS-SICE INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE, 2009, Tokyo. In: **Conference...** New York: IEEE Conference Publications, 2009. p. 4591-94.

IEEE. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). In: \_\_\_\_\_\_\_. IEEE Standard for Information technology: telecommunications and information exchange between systems: local and metropolitan area networks: specific requirements, 2006, Piscataway. 26 p. Disponível em: <a href="http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2006.pdf">http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2006.pdf</a>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

INTECH instruments. Disponível em: < http://www.intech.co.nz/products/temperature/typert/RTD-Pt100-Conversion.pdf> Acesso em: 28 out. 2012.

JENNIC. Co-existence of IEEE 802.15.4 at 2.4 GHz: application note. United Kingdon, 2008.

KNOWLEDGE transfer. Disponível em: <a href="http://www.knowledgetransfer.net/dictionary/Network/en/full\_duplex.htm">http://www.knowledgetransfer.net/dictionary/Network/en/full\_duplex.htm</a>. Acesso em: 23 set. 2012.

LI ZHENG. Industrial wireless sensor networks and standardizations: the trend of wireless sensor networks for process autometion. In: SICE ANNUAL CONFERENCE, 2010, Taipei. **Proceedings...** New York: IEEE Conference Publications, 2010. p. 1187.

LI ZHENG. Industrial wireless sensor networks and standardizations: the trend of wireless sensor networks for process autometion. In: SICE ANNUAL CONFERENCE, 2010, Taipei. **Proceedings...** New York: IEEE Conference Publications, 2010. p. 1187.

MOREIRA, N. et al. Sensor: mobile application to monitor a WSN. **Comput. Sci. & Commun. Res. Centre (CIIC)**. Leiria: Polytech. Inst. of Leiria, 2011.

MULLER, I. et al. Development of a WirelessHART compatible field device. In: IEEE INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, 2010, Austin. New York: IEEE Conference Publications, 2010. p. 1430.

OPEN HANDSET ALLIANCE. **Android overview**. 2012. Disponível em: <a href="http://www.openhandsetalliance.com/android\_overview.html">http://www.openhandsetalliance.com/android\_overview.html</a>. Acesso em: 01 out. 2012.

OPEN HANDSET ALLIANCE. **Android operating system**. 2008. Disponível em: <a href="http://www.android.com">http://www.android.com</a>. Acesso em: 01 out. 2012

PETERSEN, S.; CARLSEN, S. Performance evaluation of WirelessHART for factory automation, IEEE, 2009. In: IEEE CONFERENCE ON EMERGING TECHNOLOGIES & FACTORY AUTOMATION (EFTA), 2009, Mallorca. New York: IEEE Conference Publications, 2009.

PINHEIRO, J. M. S. **As redes com ZigBee**. 2004. Disponível em: <a href="http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo\_zigbee.php">http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo\_zigbee.php</a>. Acesso em: 2 dez. 2011.

RAMOS, J. S. B. **Instrumentação eletrônica sem fio:** transmitindo dados com módulos XBee ZigBee e PIC16F877A. São Paulo: Editora Érica, 2012.

RAMYA, C. M.; SHANMUGARAJ, M.; PRABAKARAN, R. Study on ZigBee technology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS COMPUTER TECHNOLOGY, 3., 2011, Kanyakumari. New York: IEEE Conference Publications, 2011. v. 6, p. 297.

SARIJARI, M. et al. Wireless home security and automation system utilizing ZigBee based Multi-hop Communication. In: NATIONAL CONFERENCE ON TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES, 6., 2008, Putrajaya. New York: IEEE Conference Publications, 2008. p. 242.

- SASTRY, N.; WAGNER, D. Security considerations for IEEE 802.15.4 networks. In: ACM workshop on Wireless security (Wise '04), 3., 2004, New York. **Proceedings...** New York: ACM, 2004. p. 32-42.
- SERFASS, D.; YOSHIGOE, K. Wireless sensor networks using android virtual devices and near field communication peer-to-peer emulation. In: Proceedings of IEEE Southeastcon, 2012, Orlando. **Proceedings...** New York: IEEE Conference Publications, 2012. p.1-6. Disponível em: <a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6196980&isnumber=6196883">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6196980&isnumber=6196883</a>. Acesso em: 13 jun. 2012.
- SHANKER, A.; LAL, S. Android porting concepts. New York: IEEE, 2011. p. 129-33.
- WAGNER, R. S. Standards-based wireless sensor networking protocols for spaceflight applications. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2010, Big Skay. Applications and Architectures for Wireless Sensor Networks Session. New York: IEEE Conference Publications, 2010. p. 1-7. Disponível em: <a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5446672&isnumber=5446655">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5446672&isnumber=5446655</a>. Acesso em: 13 jun. 2012.
- WANG, C.; LIUGO YIN; OIEN, G. E. Energy-efficient medium access for wireless sensor networks under slow fading conditions. In: INTERNATIONAL ICST CONFERENCE ON BROADBAND COMMUNICATIONS, NETWORKS, AND SYSTEMS, 6., 2009, Madrid. **Proceedings...** New York: IEEE Conference Publications, 2009. p.1-7. Disponível em: <a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5336354&isnumber=5336330">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5336354&isnumber=5336330</a>. Acesso em: 13 jun. 2012.
- WANG, G. **Report No. EX036/2011**: comparison and evaluation of Industrial Wireless Sensor Network Standards ISA100.11a and WirelessHART. Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2011. 89 p.
- YUN, Z.; ZHIHAO, L.; LUMING, L. Network Management in WirelessHART network for industry application. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS COMMUNICATIONS NETWORKING AND MOBILE COMPUTING (WiCOM), 6., 2010, Chengdu. **Proceedings...** New York: IEEE Conference Publications, 2010. p. 1-4. Disponível em: <a href="http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?Arnumber=5601401">http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?Arnumber=5601401</a>>. Acesso em: 13 jun. 2012.
- ZHANG, X. Research and implementation of security mechanism in ISA100.11a networks. In: ICEMI INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONIC MEASUREMENT & INSTRUMENTS, 9., 2009, Beijing. **Proceedings...** New York: IEEE Conference Publications, 2009. p. 716-21. Disponível em: <a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5274687&isnumber=5273983">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5274687&isnumber=5273983</a>. Acesso em: 23 set. 2012.
- ZIGBEE SPECIFICATION. **ZigBee Alliance**. 2011. Disponível em: <a href="http://zigbee.org/">http://zigbee.org/</a>. Acesso em: 5 dez. 2011.