

## **METODOLOGIA DE EXPERIMENTOS DIDÁTICOS ZIGBEE PARA FORMAÇÃO PROFISSIONAL**

Lucas Arruda Ramalho – lucasarrudaramalho@gmail.com  
Valtemir Emerêncio Nascimento – valtemir.nascimento@cba.ifmt.edu.br  
Ruy de Oliveira – ruy@cba.ifmt.edu.br  
Ed'Wilson Tavares Ferreira – edwilson.ferreira@cba.ifmt.edu.br  
IFMT/DAI/NPGA/GPRS  
Rua Professora Zulmira Canavarros, 95, Centro  
78005-200 – Cuiabá – Mato Grosso  
Ailton Akira Shinoda – shinoda@dee.feis.unesp.br  
UNESP/FEIS  
Avenida Brasil, 56 – Centro  
15385-000 - Ilha Solteira - SP

**Resumo:** A utilização das Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) Zigbee vem ganhando espaço em várias aplicações de engenharia em todo Brasil. Este trabalho propõe uma metodologia de experimentos representativos às aplicações mais utilizadas da rede Zigbee, denominados aqui como módulos didáticos. Esses módulos são: familiarização da tecnologia, apresentação de hardware didático, implementação de uma aplicação de monitoramento no mundo real e a transferência de arquivos utilizando a rede Zigbee. Ao utilizar a metodologia proposta, o estudante faz uso de conceitos de eletrônica, protocolo Zigbee, tecnologia Xbee, aplicações de monitoramento, controle e automação. Sendo assim, pode se dizer que essas etapas de trabalho auxiliarão o futuro profissional à dominar a tecnologia e o motivarão a aplicá-la após sua formação.

**Palavras-chave:** Zigbee, Pesquisa na formação profissional, Redes de sensores sem fio.

### **1 – INTRODUÇÃO**

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) tem sido utilizadas em aplicações de sensoriamento remoto de características do ambiente, como: temperatura, pressão, umidade. As RSSF representam uma tecnologia emergente que promete uma funcionalidade sem precedentes para monitorar, instrumentar, e, possivelmente, controlar o mundo físico (Loureiro 2007).

Essas redes tem se popularizado por não necessitarem de largura de banda muito elevada para funcionarem, e sim de baixa latência e autonomia energética, justamente pelo tipo de dados trafegados serem muito pequenos (Santos 2003). Essa popularização tem sido realizada por tecnologias como o protocolo Zigbee, que possui confiabilidade, baixo consumo de energia e baixas taxas de transmissão para aplicações de monitoramento e controle. Permite-se ainda a criação de redes com grande número de dispositivos e baixa latência na transmissão dos dados (Soares 2007).

Portanto, esse protocolo tem sido utilizado em aplicações de automatização, monitoramento ou gerência de equipamentos, nas áreas: médicas (Ferraz *et al* 2010);

industriais (Silva 2008, Eichelberger & Polonskii 2008, Lima 2009, Muller *et al* 2010); ambientais (Silva & Fruett 2010); ou agrícolas (Litjens 2009).

Todas essas aplicações margeiam uma expectativa que o mundo do trabalho terá em universidades preparadoras de profissionais que trabalhem com tecnologias com o Zigbee. Neste sentido, este trabalho objetiva demonstrar como módulos didáticos de RSSF podem motivar estudantes a assimilar melhor as abstrações de sala de aula e ainda desenvolver etapas para implementação de uma aplicação Zigbee.

A metodologia de módulos didáticos, aqui descrita, possui experimentos que estão sendo realizados como escopo preparativo de uma aplicação de monitoramento ambiental do cerrado mato-grossense. E alguns desses experimentos, estão descritos em Ramalho 2010.

Este trabalho está organizado em seções. A seção 2 explica alguns conceitos necessários ao entendimento dos experimentos do protocolo Zigbee. A seção 3 lista todos os módulos que foram estudados como ambiente didático. A seção 4 apresenta as conclusões de todos os experimentos.

## 2 - REDE ZIGBEE E MÓDULOS RF

Antes de descrever a metodologia utilizada, é preciso conhecer e entender os tipos de dispositivos que podem fazer parte de uma rede Zigbee e o *hardware* que foi utilizado nos experimentos. A Figura 1 mostra como esses nós são organizados nas diferentes aplicações de uma RSSF.

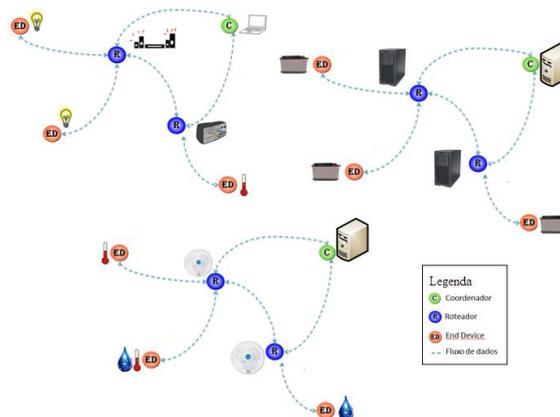


Figura 1 – Diferentes aplicações de uma RSSF Zigbee

Os dispositivos presentes nessas redes são divididos em três tipos:

**Coordenador:** Responsável pela formação da rede *ZigBee*. O Coordenador estabelece um canal de operação com seus respectivos parâmetros, podendo formar uma rede que integre roteadores e dispositivos finais. Ele geralmente se torna o controle de dados e a inteligência das aplicações através de um dispositivo computacional.

**Roteador:** Dispositivo que cria e/ou mantém as informações da rede e as utiliza para determinar a melhor rota para um pacote de dados. Os roteadores e coordenador podem participar no redirecionamento de pacotes de dados para os seus dispositivos vizinhos. Além de repetidor de pacotes, os roteadores podem também ser fonte ou destino de dados, e os equipamentos à eles conectados normalmente são aqueles que necessitam de fornecimento constantemente de energia.

**Dispositivo Final (*End Device*):** Dispositivo que sempre interage com o seu nó pai (ou um roteador ou um coordenador) na rede para receber ou transmitir dados, podendo funcionar

como uma fonte ou destino de dados, porém não possui capacidade de redirecionamento de informações. Estes dispositivos são utilizados nas aplicações, nos equipamentos ou lugares onde a fonte de energia é limitada, pois eles tem a capacidade de economizar energia pela habilidade de dormência (*sleep*) que, dentre os três tipos de dispositivos, só eles possuem.

Nos cenários didáticos, foram utilizados os *hardwares* Xbee/XbeePRO ZB RF(Radio Frequência) da Digi International<sup>1</sup>. As características desse equipamento, necessárias para compreensão dos cenários, estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Características dos módulos Xbee/XbeePRO ZB RF

Módulo	XBee ZB(S2)	XBee PRO ZB (S2)
Potência de Transmissão	1,25 mW	50 mW
Frequência de Transmissão	2,4 GHz	2,4 GHz
Sensibilidade de Recepção	-96 dBm	-102 dBm
Alcance interno	40 m	90 m
Alcance máximo	120 m	1,6 Km
Alimentação	2,1 a 3,6 VDC	3 a 3,4 VDC
Consumo Máximo	45 mA	295 mA
Consumo Sleep Mode	<1 uA	<10 uA
Segurança	128-bits AES	128-bits AES
Topologia de Rede	P2M, ZigBee/ Mesh	P2M, ZigBee/ Mesh
GPIO	10	10
Conversor A/D	4 (10 bits)	4 (10 bits)
Interface Serial	3,3 V CMOS UART	3,3 V CMOS UART

### 3 – METODOLOGIA DE EXPERIMENTOS DIDÁTICOS

Para ter noções claras de como fazer aplicações de engenharia utilizando rede Zigbee, o estudante deve entender passos preliminares importantes e assimilá-los aos cenários práticos mais representativos onde essa tecnologia é utilizada hoje. Nesta metodologia esses passos são chamados de módulos didáticos, e estão listadas como:

**Módulo Didático 1 – Familiarização com a tecnologia Zigbee.** Este módulo apresenta a tecnologia e verifica algumas características presentes na documentação do fabricante do produto.

**Módulo Didático 2 – Apresentação de hardware didático desenvolvido exclusivamente para este fim.** Neste módulo o estudante conhece as funcionalidades do Sistema de Monitoramento Remoto (SMR), que foi desenvolvida neste ambiente didático. Isso porque este *hardware* será utilizado no próximo módulo didático.

**Módulo Didático 3 - Implementação de uma aplicação no Mundo Real.** Este módulo é importante para que o estudante visualize e pratique as configurações da rede Zigbee em uma situação onde essa tecnologia é comumente utilizada.

<sup>1</sup> Distribuidor do produto Xbee e XbeePRO, cujo Datasheet está referenciado na seção 5.

**Módulo Didático 4 – Módulo de transferência de dados em larga escala.** Através desse último módulo, o estudante expansão faz uma adaptação da tecnologia para uma aplicação que necessita que a rede Zigbee faça transferência de arquivos.

### 3.1 - Módulo Didático 1 – Familiarização com a tecnologia Zigbee

O propósito deste módulo é auxiliar o estudante a ter seu primeiro contato com a tecnologia e o *hardware* Xbee/XbeePRO ZB RF e apresenta as configurações básicas que devem ser utilizadas em qualquer aplicação Zigbee. Além disso, torna possível que o estudante verifique as informações coletadas na especificação do produto fornecidas pelo fabricante.

Isso é importante em todas as aplicações que o estudante possa implementar após sua formações, pois a partir dessa verificação nota-se que as informações, coletas em pesquisas anteriores, podem ter variações pois, apesar de confiáveis, esses parâmetros foram feitos em uma situação genérica e não em condições mais específicas.

Neste sentido, os experimentos propostos aqui levam a checagem do alcance do sinal dos módulos XbeePRO ZB RF para ambientes *indoor* e *outdoor*, informados na tabela 1.

Os testes foram feitos através de medições da atenuação do sinal em função da distância. O ambiente *indoor* foi realizado em uma situação onde o obstáculo é um piso de concreto de 40 cm. O teste *outdoor* em situação de visada direta, sendo uma vez com os dispositivos XbeePRO fixados ao solo e outra sendo coloca à 1,2 m de altura.

A Figura 2 ilustra o experimento e os resultados, do teste *indoor* e *outdoor*, respectivamente.

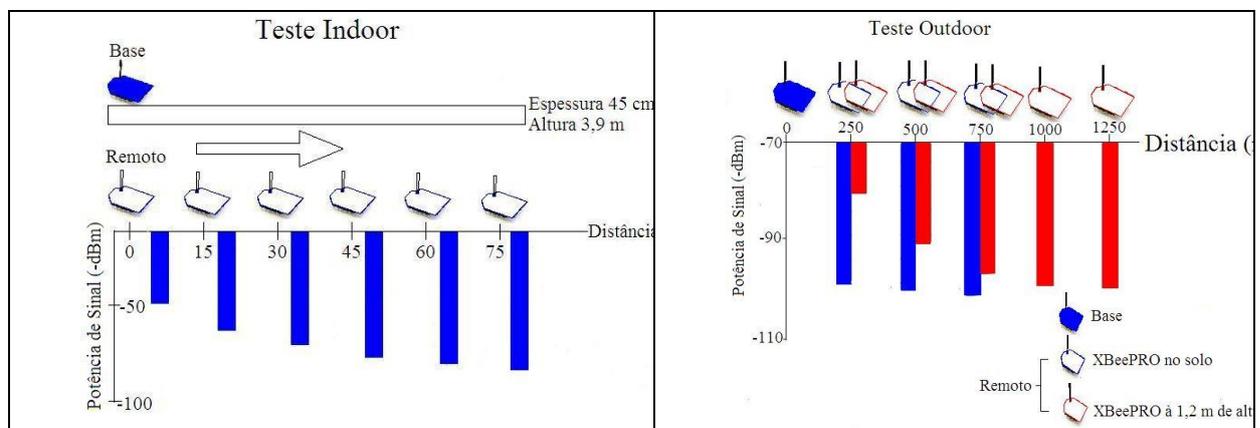


Figura 2 – Experimentos e resultados *indoor* (à esquerda) e *outdoor* (à direita).

Conforme os resultados da Figura 2 demonstram, no ambiente *indoor*, onde o *datasheet* afirma termos alcance máximo de 100 m, o teste levou a conclusão de que se tem boa desenvoltura da tecnologia Xbee, mesmo que com distância menor à informada. No ambiente *outdoor*, percebe-se que para uma cobertura melhor do sinal, os nós da rede não deverão distanciar mais de 1250 m uns dos outros, o que pode aumentar seu número e, consequentemente, o custo de implementação.

### 3.2 Módulo Didático 2 – Apresentação de *hardware* desenvolvido exclusivamente para fim didático

Para uma representação mais fiel de uma possível aplicação Zigbee, foi desenvolvida uma placa eletrônica, chamada Sistema de Monitoramento Remoto (SMR). Este módulo didático tem o objetivo de apresentar todas as possíveis funcionalidades que esse *hardware* (SMR) possa ter.

O SMR foi desenvolvido e construído para tornar possível o estudo de aplicações utilizando Xbee por estudantes em função da ausência de um hardware barato que pudesse tornar possível a pesquisa e aquisição de dados.

Este *hardware* possui dois níveis de tensões contínua, reguladas a 3,3V e 5V em seu circuito a fim de atender as necessidades do próprio módulo sem fio e dos sensores. Trabalha na faixa de tensão de 7V a 24V contínua ou alternada em sua entrada podendo ser ligada por uma fonte externa ou baterias de 9V, 12V entre outras. Também tem um consumo baixo de 70 mA em média no modo não *sleep*.

Além de um potenciômetro de 10k $\Omega$  para testes de simulação de aquisição de dados, possui botão de comissionamento e quatro conectores de expansão destinados a:

- Sensor de temperatura (dedicado) especificamente o LM35 com nível de tensão 5V.
- Outros componentes de entrada e saída tais como botão e sensor com nível de tensão também de 5V.
- Saída de tensão 3,3V para prototipagens futuras.
- Saída do terra ou GND também destinados para prototipagens futuras.

A Figura 3 ilustra a associação do SMR com o módulo Xbee.

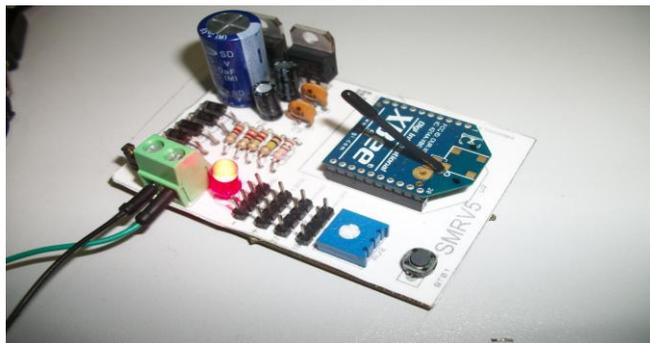


Figura 3 – SMRv5 associado ao módulo Xbee.

Estas placas são associadas ao modo *sleep* da tecnologia Zigbee, portanto os módulos Xbee devem ser configurados apenas como dispositivos finais (*end-devices*).

### 3.3 - Módulo Didático 3 - Implementação de uma aplicação no Mundo Real

O objetivo aqui é ganhar *know-how* em uma aplicação de monitoramento, utilizando rede Zigbee. Nesse sentido, este módulo realiza um experimento que representa um tipo de aplicação comumente utilizada para RSSF, o monitoramento de temperatura ambiente. Este experimento utiliza as placas SMR para coletar amostras de temperatura em laboratórios.

A topologia utilizada pode ser observada na Figura 4, é composta por duas redes distintas, porém com o mesmo propósito, coletar amostras de dados. Para implementar este monitoramento o estudante deve seguir algumas etapas.

A primeira etapa está em configurar o nó coordenador da rede, para receber as amostras de dados que serão enviadas. Feito isso, deve-se configurar os dispositivos *end-devices*, nomeando-os de maneira a facilitar a gerencia posterior dos dados. Além disso, a configuração desses nós é efetuada com o objetivo que eles enviem as amostras de dados,

neste caso de temperatura, aos coordenadores a cada 10 minutos. Essa configuração remota e a recepção dos dados são feitas pelo software do fabricante, o X-CTU.

A próxima etapa é posicionar os SMRs distribuídos nos laboratórios na melhor maneira possível. A partir daí, o estudante percebe que mesmo em um monitoramento simples, um maior número de nós sensores pode trazer resultados mais satisfatórios para o controle da aplicação.

Neste exemplo de experimento, oito nós sensores foram utilizados, além do coordenador. Observa-se a ausência de nós roteadores na topologia, o que implica que a rede formada está em topologia estrela, sem saltos adicionais entre os dados.

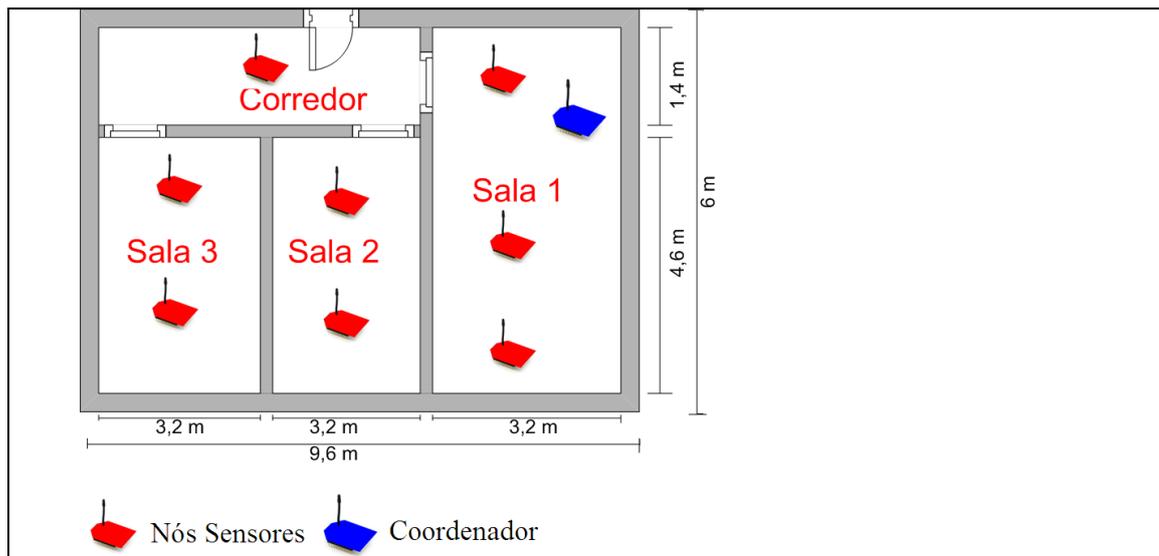


Figura 4 – Topologia de coleta de dados

Após a coleta dos resultados, o estudante deve fazer a compilação dos resultados a partir do endereço de cada nó e/ou pelo nome atribuído a ele.

### 3.4 - Módulo Didático 4 – Módulo de transferência de dados em larga escala

A assimilação dos resultados do módulo didático anterior deve ser feita em relação uma aplicação de monitoramento de qualquer característica do ambiente, afinal as RSSF foram desenvolvidas para transferência de dados pequenos que façam exigência de altas velocidades. Porém, algumas aplicações podem necessitar de tais adaptações deste tipo de rede. Por exemplo, em um monitoramento ambiental que utilize estações meteorológicas integradas à uma rede de sensores, necessitará de transferências de arquivos de *dataloggers* e a base de dados, através da RSSF.

A Figura 5 ilustra como ocorre uma transferência de arquivos através de uma interface serial, emulada pela tecnologia Zigbee de forma transparente à aplicação, entre um *datalogger* (aparelho utilizado para recolher parâmetros do ambiente no monitoramento ambiental) e um computador.

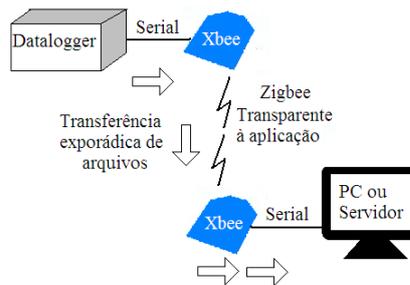


Figura 5 – Transferência de arquivo através de porta serial com Zigbee

Sendo assim, este módulo didático aplica uma rede em quatro cenários diferentes de transferências de arquivos. O objetivo é verificar a adaptação da tecnologia Zigbee às aplicações onde a confiabilidade e a velocidade exigidas são maiores que na transmissão de amostras de dados comuns, como as coletadas no Módulo Didático 3, e observar o nível de interferência que essas amostras causam em uma transferência de arquivos.

Os cenários estudados estão ilustrados na Figura 6.

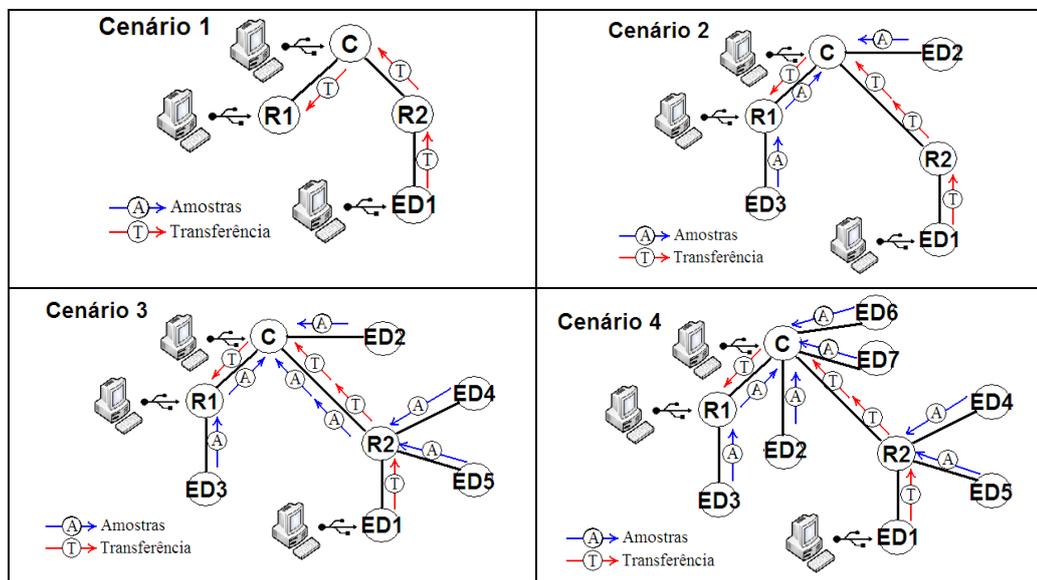


Figura 6 – Cenários de transferência de arquivos

O Cenário 1 foi constituído de apenas quatro nós, sendo um coordenador da rede (C), um roteador (R1) e um dispositivo final (ED1) conectados a três computadores via interface serial ou USB, e ainda um roteador (R2) remoto que é pai do dispositivo final. O Cenário 2 tem sua topologia semelhante ao Cenário 1, com o acréscimo de um end device (ED2) filho do coordenador da rede e outro (ED3) tendo como pai o roteador (R1). O Cenário 3 possui dois dispositivos finais (ED4 e ED5) adicionais na rede como filhos do roteador R2. O Cenário 4 com um total de 10 dispositivos. A topologia tem um coordenador C, três routers R1, R2, e seis end devices, ED1, ED4 e ED5 sendo filhos de R2, o ED2, ED6 e ED7 como filhos do C, o ED3 filho do R1.

Conforme as Figuras 6, arquivos de 10 kbytes e 50 kbytes de tamanho são transferidos do ED1 para o R1. Além disso, os Cenários 2, 3 e 4 possuem os outros *end devices* enviando amostras de dados ao C. Note que, no Cenário 1, não se tem a presença de tráfego de amostras, pois o mesmo servirá de base de comparação com o aumento na atividade da rede.

Sendo assim, foram observados os parâmetros: velocidade e número de falhas ocorridas durante as transmissões dos arquivos. O objetivo é verificar se as amostras de dados enviadas pelos sensores ao coordenador da rede podem interferir negativamente na transferência de

arquivos. E ainda se essa interferência é proporcional ao tamanho do arquivo que se quer transmitir.

Através da análise dos resultados, o estudante pode concluir que com o aumento do tamanho dos arquivos transferidos e o aumento do tráfego de mensagens pode influenciar muito no processo de transmissão.

Portanto, através deste experimento, o profissional conhece o nível de adaptação, para transferência de arquivos, que sua rede Zigbee suporta.

#### **4 – CONCLUSÕES**

As RSSF Zigbee vem se popularizando em várias áreas da economia e da pesquisa. Essa popularização faz com que o mundo do trabalho necessite de profissionais que estejam preparados para levar o conhecimento e a prática dessa tecnologia a fim de facilitar as aplicações de controle, monitoramento e automação.

Ao utilizar a metodologia proposta, o estudante faz uso de conceitos de eletrônica, protocolo Zigbee, tecnologia Xbee, aplicações de monitoramento, controle e automação.

Analisando todos os módulos didáticos estudados desta metodologia, pode-se dizer que as etapas - familiarização da tecnologia, apresentação de *hardware* didático, implementação de uma aplicação de monitoramento no mundo real e a transferência de arquivos utilizando a rede Zigbee - auxiliam o estudante a dominar a tecnologia, ilustram as principais aplicações onde as RSSF são utilizadas e ainda motivam sua utilização em aplicações posteriores à formação profissional.

Como trabalhos futuros os autores pretendem aplicar a metodologia na formação profissional e ainda fazer uma pesquisa qualitativa com os estudantes sobre os benefícios desses módulos didáticos em seu aprendizado. Percebe-se ainda que são necessárias atividades práticas em ambiente *outdoor*.

#### **Agradecimentos**

Agradeço à FAPEMAT pelos recursos utilizados na compra de equipamentos, ao IFMT pela bolsa de Iniciação Científica que resultou no ganho de conhecimento em RSSF. Agradeço também os orientandos e orientadores do Grupo de Pesquisa em Rede Sem fio e do Núcleo de Pesquisa em Geoprocessamento Ambiental que estão sediados no IFMT – Campus Cuiabá.

Também agradeço o colega de trabalho Ibrahim Baraúna que se empenhou conosco na confecção da placa SMRv5.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Digi International Inc. 2008 Manual Xbee ZB/XbeePRO ZB RF Modules.

Digi International Inc. 2008 Manual X-CTU Configuration & Test Utility Software – User's Guide.

EICHELBERGER, R. A.; POLONSKII, M. Sistema de Controle de Iluminação por radiofrequência. **Anais**: VIII Conferência Internacional de Aplicações Industriais. Poços de Caldas: 2008.

FERRAZ, D.; TORRES, J. M.; SOBRAL, P.; MOREIRA, R. S. Monitoração vital e ambiental para grupos de pacientes recorrendo a redes de sensores. **Anais: 5ª Conferência Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação**. Santiago de Compostela: 2010.

LIMA, Thiago Silvano Rêgo. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Centro de Tecnologia. **Sistema de monitoramento remoto de UPS**, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso.

LITJENS, Otto Jacob. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola de Engenharia de São Carlos. **Automação de estufas agrícolas utilizando sensoriamento remoto e o protocolo Zigbee**, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso.

LOUREIRO, A. A. F. Redes de sensores sem fio. **Anais: GRANDES DESAFIOS DA PESQUISA EM COMPUTAÇÃO PARA O PERÍODO 2006-2016**. Belo Horizonte: 2007.

LOUREIRO, A. A. F.; NOGUEIRA, J. M. S.; RUIZ, L. B.; MINI, R. A. de F.; NAKAMURA, E. F.; FIGUEIREDO, C. M. S. Redes de sensores sem fio. **Anais: XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores**. Natal: 2003.

MULLER, I.; PEREIRA, C. E.; NETTO, J. C.; ALLGAYER, R.; DRESH, R. Rede de sensores sem fio aplicada no monitoramento de bancos de baterias para *nobreaks*. **Anais: XVIII Congresso Brasileiro de Automática**. Bonito: 2010.

RAMALHO, Lucas Arruda. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO – CAMPUS CUIABÁ. **Metodologia de experimentos didáticos de aplicações Zigbee**, 2011. Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em Redes de Computadores.

RAMALHO, L. A., OLIVEIRA, R., TAVARES, E., NASCIMENTO, V. E. ; Rede de sensores como suporte à coleta remota de parâmetros ambientais. **Anais: 1ª WORKSHOP DE PESQUISA E INOVAÇÃO DO IFMT**: 2010.

SANTOS, Sergio Torres dos. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **Redes de sensores sem fio em monitoramento e controle**, 2003. Dissertação de Mestrado.

SILVA, Ivanovitch Medeiros Dantas da. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Centro de Tecnologia. Análise de desempenho de sistemas de comunicação sem fio para monitoramento de unidade de produção de poços petrolíferos terrestres, 2008. Dissertação de Mestrado.

SILVA, M. S.; FRUETT, F. Rede de sensores sem fio de baixo custo para monitoramento ambiental. **Anais: XVIII Congresso Brasileiro de Automática**. Bonito: 2010.

SOARES, Leandro Cavalari. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA. **Redes de sensores sem fio com enfoque em protocolos de comunicação**, 2007. Trabalho de Conclusão de Curso.

## **METHODOLOGY OF DIDACTIC EXPERIMENTS OF ZIGBEE APPLICATIONS**

**Abstract:** *The Zigbee Wireless Sensor Networks (WSN) utilization are been gaining ground in engineering applications in throughout Brazil. This work proposed a methodology of representatives experiments to applications most used of Zigbee network, termed here as didactic modules. These modules are: familiarization of technology, presentation of the didactic hardware, implementation of an application of monitoring in real world and the transfer files using a Zigbee network. When using the proposed methodology, the student makes use of concepts of electronic, Zigbee protocol, Xbee technology, and applications of monitoring, control and automation. So, can be said that these steps of work will help the new professional to dominate the technology and will motivate to apply it after his formation.*

**Key-words:** *Zigbee, Research in vocational training, Wireless sensor network*