

Uma Análise da Implementação ZigBee pela Tecnologia Sun SPOT

Alisson V. Brito¹, Gustavo S. Oliveira², Leandro J. Caetano²

¹Centro de Ciências Aplicadas e Educação – CCEA
Universidade Federal da Paraíba – UFPB - Rio Tinto – PB – Brasil

²Instituto Paraibano de Pós-Graduação – I2P
Faculdade de Tecnologia de João Pessoa - FATECJP
João Pessoa – PB – Brasil

alissonbrito@ccae.ufpb.br, {saviojpp, leandrojcaetano}@gmail.com

Abstract. *The Sun SPOT Technology, Small Programmable Object, developed by Sun Microsystems, promises to be new possibility in world of Wireless Sensor Networks (WSN), considering it implements the ZigBee technology (IEEE 802.15.4). This work presents an analysis of the physical capabilities of the ZigBee implementation by the Sun SPOTs, aiming at the possible distances that devices are able to transmit and receive data. The main objective is to provide practical and real numbers which help the development of other applications based on localization, positioning and movement of devices on the network.*

Resumo. *A tecnologia Sun SPOT, Small Programmable Object Technology, desenvolvida pela Sun Microsystems é uma promessa de nova possibilidade no mundo das Redes de Sensores Sem Fio, já que implementa a pilha de protocolos ZigBee (IEEE 802.15.4). Este trabalho apresenta uma análise das capacidades físicas da implementação ZigBee pela tecnologia Sun SPOT, focando nas distâncias alcançadas nas transmissões sem fio. O objetivo é obter números práticos e reais sobre distância entre dispositivos, possibilitando que outras aplicações possam ser desenvolvidas, baseadas localização, posicionamento e movimentação de dispositivos na rede.*

1. Introdução

A tecnologia Sun SPOT, *Small Programmable Object Technology*, desenvolvida pela Sun Microsystems (<http://www.sunspotworld.com>), baseia-se nas Redes de Sensores sem Fio (RSSF) e emprega o padrão de transmissão ZigBee [Patrick Kinney 2003].

Utilizando Sun SPOTs é possível simplificar o desenvolvimento de aplicações de redes de sensores, impulsionado pela facilidade de desenvolvimento que o mesmo dispõe, observando que a sua programação utiliza *Java Micro Edition* (java.sun.com/javame), assim alcançando um alto nível de abstração e consequentemente usufruindo de toda a portabilidade que a linguagem Java oferece. Vale ressaltar que o SPOT provém de uma arquitetura única com amplo poder computacional suportado por um processador ARM de 180MHZ a um baixo custo de energia.

A tecnologia ZigBee, desenvolvida pela *ZigBee Alliance* (<http://www.zigbee.org>), visa um novo conceito de transmissão de dados para redes de sensores sem fio de curta distância. Desenvolvida para aplicações que necessitam de uma longa vida para as suas baterias. Ela herda características das Redes *Mesh*, como foi observado em [Anggelou 2008] e [Porcino e Walter 2003], admitindo a concepção de redes de malha com auto-regeneração e auto-organização. Este novo padrão de rede sem fio se destaca pela sua confiabilidade, onde em cada camada do modelo OSI [Tanenbaum 2003] há mecanismos para combater as possíveis dispersões encontradas na transmissão pelo ar.

A principal aplicação deste projeto trata-se de um estudo sobre a implementação da tecnologia ZigBee através do Sun SPOT, observando e testando na prática o seu comportamento em situações laboratoriais e do mundo real. Através desse estudo, será possibilitado o desenvolvimento de sistemas que unirão dispositivos diversos, formando um sistema caracterizado como *Pervasive Computing*, como discutido em [Dey 2001]. A partir dessa estrutura sistemas de segurança, de localização, automação domiciliar e sistemas de monitoramento em geral utilizando Sun SPOTs poderão ser desenvolvidos com um maior embasamento sobre as reais capacidades de tais dispositivos.

Os experimentos realizados fazem uma relação entre a potência dos sinais de rádio utilizados nas transmissões, e as distâncias alcançadas. O trabalho [Papadimitratos 2008] fala da importância da descoberta de dispositivos vizinhos numa rede *ad hoc*, como redes de sensores sem fio menciona que fatores da comunicação devem ser levados em consideração para possibilitar a descoberta de dispositivos próximos, como: potência do sinal transmitido, distância entre o transmissor e os receptores, a relação entre sinal/ruído e emparelhamento do meio sem fio utilizado (frequência e codificação utilizadas).

Baseado nisso, é apresentado um estudo prático sobre as distâncias alcançadas pelos nós das redes ZigBee quando implementadas pela tecnologia Sun SPOT. A partir desse estudo, aplicações básicas poderão ser desenvolvidas apoiadas em informações mais precisas sobre as características físicas das redes ZigBee formadas por dispositivos SPOT.

2. A Tecnologia Sun Spot

O *Sun Small Programmable Object Technology*, desenvolvido pela Sun Microsystems, é uma tecnologia formada por dispositivos de redes de sensores sem fio que seguem o padrão IEEE 802.15.4, implementando a tecnologia ZigBee a uma frequência de 2.4 GHz com antena integrada. Esta tecnologia permite que desenvolvedores compilem seus aplicativos Java utilizando a JVM (*Java Virtual Machine*), possibilitando o uso de IDEs convencionais para o desenvolvimento dos algoritmos.

Os SPOTs têm dimensões pequenas que cabem na palma da mão (vide Figura 1), dispõem de um alto poder computacional, oferecem processamento semelhante aos dos primeiros computadores em meados dos anos 90, utilizam uma pequena máquina virtual Java Micro Edition conhecida como Squawk que não necessita de sistema operacional, funcionando diretamente em um núcleo ARM-9 Core de 180 MHz com 512K de memória RAM e 4MB de memória flash. Os mesmos são formados por seis portas analógicas, oito LEDs tricolores, cinco pinos para I/O e quatro pinos de saída de

alta corrente. Esses dispositivos são capazes de perceber o ambiente em que estão inseridos, através de sensores de movimento, temperatura e luz, medidor de aceleração de três eixos, 2G/6G.



Figura 1. Imagem de um Sun SPOT

As baterias desses aparelhos são recarregáveis e constituídas de gerenciamento automático provido por software, baterias estas formadas por lítion-ion de 3.6v e 750mAh, além disso, existe um mecanismo para economia chamado de modo de inatividade profundo a 48 uA.

A transmissão dos dados como já foi citado antes, utiliza a tecnologia ZigBee e além do mais, o conceito de estação base para a rede de sensores. Os SPOTS são munidos de segurança, contendo implementação intensamente otimizada do algoritmo ECC (*Criptografia de Curvas Elíticas*).

3. Redes Zigbee

3.1 O Padrão IEEE 802.15.4

O padrão IEEE 802.15.4 visa aplicações sem fio para equipamentos que não precisem de alta taxa de dados, mas que necessitam de baixa latência e baixo consumo de energia [Anggelou 2008].

A WPAN (*Wireless Personal Area Network*), onde está situada a tecnologia de pequeno alcance (entre 10 e 100 metros). Consiste em um padrão para redes locais que foi definido pelo padrão 802.15.4, para o endereçamento de redes em fio que fazem uso de dispositivos portáteis ou móveis.

Em uma rede IEEE 802.15.4 há três tipos diferentes de dispositivos: *Network Coordinator*, *Full Function Device (FFD)* e *Reduced Function Device (RFD)*. O *Network Coordinator* contém todo o conhecimento da rede. É o mais sofisticado e utiliza mais memória e processamento. Tem como função coordenar a rede, decide a forma de acesso ao meio e permite que novos nós entrem na rede. Já o *Full Function Device* possui toda a funcionalidade do IEEE 802.15.4. Contém uma memória adicional, processamento ideal nas realizações de roteamento de rede e também são utilizados nas margens da rede fazendo uma conexão com o mundo real. O *Reduced Function Device* por sua vez possui funções limitadas e controla custos e complexidades do tráfego da rede. Por não fazerem roteamento, não são usados nas margens das redes.

3.2 A Zigbee Alliance

A Rede ZigBee é formada por um consórcio de empresas, tais como Honeywell, Mitsubishi Electric, Philips, Invensis, Samsung e Motorola, ligadas ao ramo de tecnologia. Seus alvos principais são a automação de prédios residenciais, com o intuito

de permitir o controle remoto de equipamentos e periféricos, dispositivos eletrônicos, brinquedos, também no monitoramento médico, na agricultura como forma de monitoramento da umidade do ar, do solo, temperatura e vento, no monitoramento automático do afundamento de prédios em tempo real [Leonov 2007].

A ZigBee Alliance define os protocolos das camadas de rede e de aplicação, incluindo também seus perfis. Já o padrão IEEE 802.15.4 define as camadas Física e de Acesso Múltiplo ao Meio (MAC), que são as camadas inferiores implementadas em hardware.

3.3 Características da Rede

Uma rede ZigBee pode possuir até 64k nós, sendo que um destes nós deve ser o nó coordenador. Se um novo nó quiser se juntar à rede, seu tempo de ativação é de 30ms. Para um nó adormecido se tornar ativo, seu tempo de ativação é de 15ms. Cada dispositivo pode enviar dados para outro dispositivo à cerca de 30m de distância. O alcance de uma rede pode então ser bem maior, devido à formação de redes *Mesh*.

A entrada destes nós na rede é gerenciada pelo coordenador da PAN (*Personal Area Network*) que entra no modo de enumeração ou aprendizagem, permitindo que novos nós entrem na rede por um determinado período de tempo que é de alguns milissegundos. Se durante esse tempo houver uma requisição para se unir à rede, então o novo nó será capaz de aderir à rede. Possibilita, com isso, dois estados principais de funcionamento: ativo para transmissão e recepção e inativo quando não está transmitindo.

3.4 Aplicações

O padrão ZigBee foi direcionado para aplicações que não necessitam de grande largura de banda, que sejam econômicas em relação aos valores de aquisição de hardware, quanto também ao consumo de energia, tornando-se bastante útil em aplicações críticas de temporização que necessitam, além das respostas rápidas, de um bom aproveitamento das baterias. Visto que, seu objetivo é ser utilizado em aplicações que não foram utilizadas pelo Bluetooth, ou por outro tipo de padrão sem fio, diferencia-se pelo tipo de alimentação dos dispositivos, que podem ser alimentadas com pilhas alcalinas comuns, criando uma expectativa de duração superior a duas horas.

Realizando uma pequena comparação com o Bluetooth (apresentado na Tabela 1), consegue-se perceber a vantagem do ZigBee em redes de sensores que possuem muitos dispositivos e tráfego de pequenos pacotes de dados.

Tabela 1. Principais diferenças entre estes protocolos.

	ZigBee	Bluetooth
Padrão (MAC + PHY)	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1
Taxa de transferência	250kbps	750kbps
Corrente na Transmissão	30mA	40mA
Corrente em Standby	3uA	200uA
Memória	>32kb	<100kb
Acesso a rede	30ms	3s
Transição (dormindo/ativo)	15ms	3s
Tempo de acesso ao	15ms	2ms

canal		
-------	--	--

Pode-se verificar que ZigBee e Bluetooth são tecnologias diferentes que possuem características de transmissão de dados para aplicações distintas. Essas diferenças se dão a partir da arquitetura na qual foram desenvolvidas. Como visto na Tabela 1, O Bluetooth possui taxa de transferência, consumo de energia e capacidade de armazenamentos maiores, já que visam aplicações em dispositivos pessoais, porém maiores que os utilizados pelas redes ZigBee. Como o foco das redes ZigBee é a implementação por pequenos sensores (alguns poucos maiores que uma moeda), sua rede possui menor desempenho, mas mais velocidade no acesso à rede e ao canal, assim como na transição de estado de “dormindo” para “ativo”.

4. Checagem da Qualidade do Sinal

O programa para análise da qualidade dos sinais transmitidos pelos dispositivos foi desenvolvido em duas partes. Uma delas é a transmissora, executada por um dos SPOTs que se comunica com um PC através de sua estação base (basestation). O código deste programa pode ser visto na Figura 2. Ela é responsável por transmitir pacotes constantemente numa taxa fixa predeterminada (linha 12). A conexão é criada via broadcast numa porta pré-configurada para simplificar o processo (linhas 3 e 4). O pacote é montado entre as linhas 13 e 16, e enviado na linha 17. Para o pacote não ser enviado vazio, são enviados o tipo de pacote ("RADIO_TEST_PACKET"), a potência utilizada para o sinal (nos experimentos foi utilizada sempre a potência máxima permitida) e o número de sequência do pacote ("count").

```

1  while (xmitDo) {
2      ...
3      txConn = (DatagramConnection)Connector.open
4      ("radiogram://broadcast:" + BROADCAST_PORT);
5      Datagram xdg = txConn.newDatagram(txConn.getMaximumLength());
6      long count = 0;
7
8      while (xmitDo) {
9          System.out.println("Transmitindo...");
10         long nextTime = System.currentTimeMillis()+PACKET_INTERVAL;
11         count++;
12         if (count >= Long.MAX_VALUE) { count = 0; }
13         xdg.reset();
14         xdg.writeByte(RADIO_TEST_PACKET);
15         xdg.writeInt(power);
16         xdg.writeLong(count);
17         txConn.send(xdg);
18         led.setOff();
19
20         long delay = (nextTime - System.currentTimeMillis()) - 2;
21         if (delay > 0) {
22             pause(delay);
23         }
24     }
25 }

```

Figura 2. Código fonte da classe transmissora.

O PC com sua basestation, por sua vez, executa a outra parte do código responsável por receber cada pacote e calcular a qualidade do sinal. Como a qualidade

do sinal para captação de um pacote pode variar bastante de um pacote para outro, a idéia é manter a média das qualidades de vários pacotes. A Figura 3 apresenta um trecho do programa de recepção dos pacotes e cálculo das qualidades dos sinais. Nas linhas 1 e 2 a conexão é aberta para recepção dos eventuais pacotes do SPOT. Na linha 7 um laço é criado para receber uma quantidade limitada de pacotes, em nossos experimentos eram recebidos 10 pacotes por vez. O pacote é recebido e seus dados são lidos entre as linhas 8 e 13. Na linha 15 é medida a qualidade do sinal recebido, dada numa escala entre -60 e 60. Em seguida, na linha 19 cada medida de qualidade obtida é unida à média de qualidade geral entre todos os pacotes já recebidos até o momento. Desta forma, cada medida de qualidade retornada é obtida através de centenas de pacotes para evitar fortes desvios de resultado.

```

1  rcvConn = (RadiogramConnection)Connector.open("radiogram://:" +
2  BROADCAST_PORT);
3  rcvConn.setTimeout(PACKET_INTERVAL - 5);
4
5  Radiogram rdg =
6  (Radiogram)rcvConn.newDatagram(rcvConn.getMaximumLength());
7  for (int i=0;i<numberOfPackages;i++){
8      rdg.reset();
9      rcvConn.receive(rdg);          // listen for a packet
10
11     rdg.readByte();
12     rdg.readInt();
13     rdg.readLong();
14
15     quality = rdg.getRssi();        //signal power (from -60 to 60)
16
17     number++;
18
19     qualityAvg = ((qualityAvg * (number-1)) + quality)/number;
20 }

```

Figura 3. Código fonte da classe receptora.

4. Distância Entre Nodos

Experimentos simples foram realizados com o intuito de inferir qual a distância entre dois nodos numa rede ZigBee formada por Sun SPOTs. A estratégia adotada foi a de implementar dois pequenos algoritmos. Um que é executado num dos SPOTs que envia um pacote a cada 200ms para um outro SPOT ligado a um computador pessoal que executa o segundo algoritmo. Esse por sua vez, recebe os pacotes e analisa duas variáveis, a potência do sinal recebido e a qualidade dos pacotes, medida pela correlação dos cabeçalhos dos pacotes. Ambas variáveis, potência e qualidade, podem ser obtidas por métodos da API (*Application Programming Interface*) do Sun SPOT, *getRSSI* e *getQuality*, respectivamente. A potência é medida em decibéis e varia de -60 a 60, já a qualidade medida varia de 0 a 255.

Durante a medição, seqüências de cem pacotes são enviados. O receptor calcula a potência recebida e a qualidade para cada pacote e obtém uma média aritmética de ambos os valores. Depois disso, mais cinqüenta amostras são coletadas, erros nas amostras são removidos e outra média é calculada para cada variável.

Os experimentos foram divididos em dois cenários, um para medir curtas distâncias, de até 10 metros, e outro para medir distâncias maiores, até o alcance máximo da tecnologia (nominal de 30 metros).

Antes de iniciar as transmissões, as potências de transmissão dos rádios de ambos os SPOTs é configurada. Quanto maior a potência empregada, maiores distâncias os sinais alcançarão. No cenário de curtas distâncias, a potência utilizada é menor, para aumentar a sensibilidade dos SPOTs à variação da distância. Já no segundo cenário, a potência utilizada é máxima, para alcançar as maiores distâncias possíveis.

4.1 Primeiro Cenário – Curtas Distâncias

Neste cenário, o objetivo é detectar a que distância um SPOT executando de forma móvel está de outro executando conectado a um computador pessoal, sendo capaz de detectar pequenas variações de distância, de um metro, por exemplo. Esse tipo de medição é útil em aplicações futuras onde a localização dos SPOTs em ambientes pequenos pode ser útil, como no sistema de monitoramento de casas inteligentes, por exemplo.

Para aumentar a sensibilidade dos SPOTs à pequenas variações de distância, a potência utilizada foi a de -5, onde o mínimo é -32 e o máximo é 31. Potências menores que -5 foram testadas, mas se mostraram capazes de transmitir apenas até 2 metros de distância.

Durante a realização desse experimento, ambos os SPOTs foram dispostos sobre o chão, primeiramente à uma distância de um metro, em seguida à dois metros, assim sucessivamente até dez metros de distância. A cada momento, os dados foram coletados, filtrados e as médias foram calculadas.

Foi observado que a potência recebida sozinha não reflete exatamente a distância entre os dispositivos. Em certos casos, por exemplo, para distâncias maiores potências recebidas foram maiores do que para distâncias menores. Entretanto, nesses casos, tal potência foi alcançada em detrimento da qualidade dos pacotes recebidos.

A Figura 4 apresenta o gráfico obtido das médias das potências recebidas dos sinais em relação à distância entre os nodos. A reta intitulada “potência” (reta mais escura na figura) mostra os valores das potências recebidas puramente. Observa-se que à distância de quatro metros, houve um aumento na potência do sinal recebido, causando certa aleatoriedade na função.

Outra reta foi traçada visando a análise do impacto distância entre os SPOTs na qualidade dos pacotes recebidos, e como essa qualidade pode ajudar a entender melhor a relação entre as variáveis. Na segunda reta, intitulada “potência x qualidade” (reta mais clara na figura), a qualidade, medida em porcentagem, onde a qualidade medida de 255 representa 100% de qualidade, foi multiplicada à potência recebida pelo receptor. Esse resultado ameniza a irregularidade entre as distâncias de três e quatro metros, mas mostra outra, entre cinco e seis metros. Mostra também que a sete metros a qualidade do sinal cai bruscamente. Essa foi a maior distância alcançada quando o sinal foi transmitido e recebido à uma potência de -5.

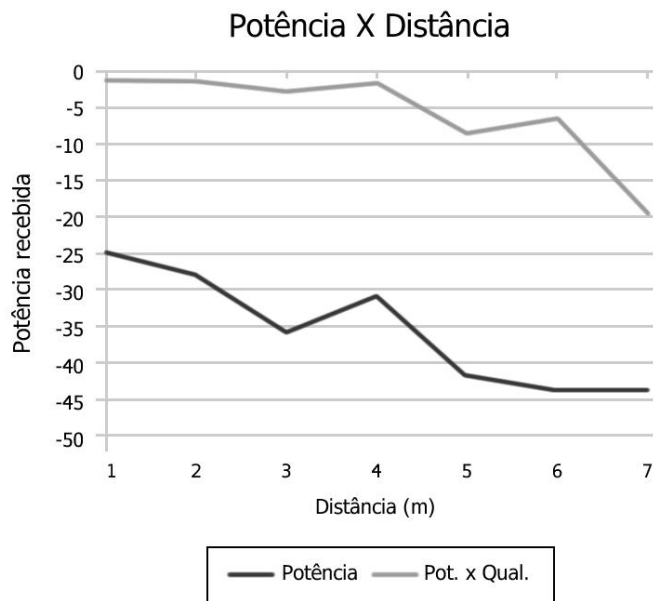


Figura 4. Gráfico da potência recebida pela distância entre dos SPOTs.

4.2 Segundo Cenário – Longas Distâncias

No segundo cenário, o objetivo é prover mecanismos de o SPOT receptor detectar a que distância o outro dispositivo transmissor se encontra. A mesma estratégia utilizada no primeiro cenário foi repetida aqui, mas agora para distâncias maiores, variando de 5 metros até 30 metros, que é o limite nominal da especificação do ZigBee.

Na Figura 5 é apresentada a porcentagem de pacotes recebidos. O transmissor trabalha enviando sempre sequências de 100 pacotes um a cada 200ms. O máximo obtido, em média, foi a recepção de cerca de 15% dos pacotes de cada grupo, quando há uma distância de 30m entre os SPOTs, e o mínimo foi 0,05% dos pacotes, quando a distância é de 30 metros.

É possível ser observado que há uma discrepância quando a distância é de 25m, onde a porcentagem de pacotes recebidos é maior do que quando à 20m. Tal comportamento se repete em todos os experimentos realizados. A razão para tal está sendo investigada em novos experimentos.

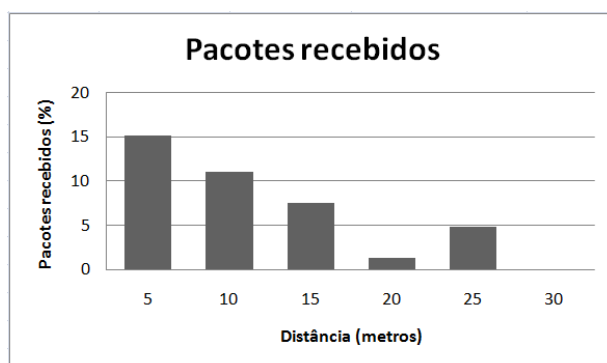


Figura 5. Porcentagem de pacotes recebidos.

Observa-se na figura 6 a qualidade dos dados recebidos dos pacotes recebidos. Pode ser observado que quando a distâncias menores, a qualidade dos pacotes é maior, com exceção dos erros apresentados a distâncias de 25m.

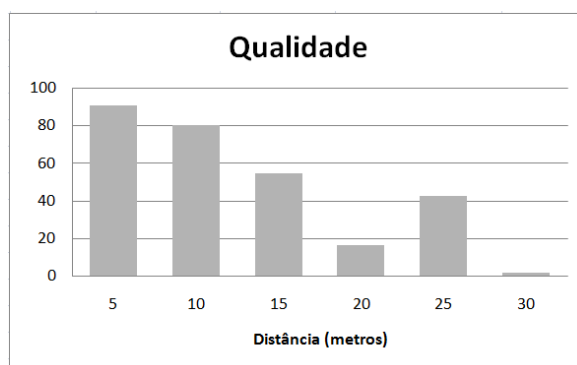


Figura 6. Qualidade dos pacotes recebidos.

5. Análise dos Resultados

Os resultados coletados apontam para uma estratégia para estimativa de distância entre nós de uma rede ZigBee formada por SunSPOTs.

Foi visto que no primeiro cenário, quando as distâncias são menores que 10m, a melhor estratégia para estimar a distância entre nós da rede é diminuir a potência das antenas dos transmissores e receptores para aumentar a sensibilidade a mudanças de distância.

Mesmo assim, foi visto que medir a potência do sinal recebido e a qualidade dos pacotes separadamente pode ser útil, mas não a única estratégia. O melhor é fazer uma multiplicação de uma variável com a outra, encontrando uma relação entre esses dois valores.

Para cenários onde a distância é maior que 10m, tanto a porcentagem de pacotes recebidos e a qualidade dos pacotes recebidos podem ser utilizados para inferir a distância entre os pontos. Mesmo com os erros encontrados quando a distância é cerca de 25m, essas duas variáveis mostraram-se ferramentas capazes de auxiliar a estimativa de distância entre nós numa rede formada por SunSPOTs.

6. Considerações Finais

A estimativa de distâncias entre nós numa rede *Mesh* é a base para possibilitar várias aplicações outras aplicação como a localização, o posicionamento e a movimentação de elementos da rede no ambiente. Sem números reais sobre a mensuração das distâncias alcançadas pelos rádios dos dispositivos, todas aplicações dessa natureza tornam-se empírica.

Como trabalhos futuros, outros experimentos estão sendo realizados, em relação à taxa de transmissão e de consumo de energia dos Sun SPOTs. Tais trabalhos embasarão a criação de um sistema pervasivo em nossos laboratórios baseado nessa tecnologia.

7. Agradecimentos

Agradecimento à Sun Microsystems pela doação dos equipamentos Sun SPOT para realização desta pesquisa.

8. Referências

- Patrick Kinney. (2003) “ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works”, <http://www.zigbee.org>.
- Anggelou, G. (2008) “Wireless Mesh Networking: With 802.16, 802.11, and ZigBEE”, McGraw-Hill Professional, 1.ed. ISBN: 0071482563.
- Porcino, Domenico and Hirt, Walter. (2003) “Composite Reconfigurable Wireless Networks: The Eu R&D Path Towards 4g”, Philipis Research: IBM Zurich Research Laboratory.
- Tanenbaum, Andrew S. (2000), Computer Networks, 4th edition.
- Dey, A.K. (2001) “Understanding and Using Context”, Personal and Ubiquitous Computing Journal.
- Leonov, A. (2007) “As redes ZigBee™ protegem os prédios contra a ameaça de afundamento”, A Revista de Micro e Nanotecnologia do Pólo Industrial de Manaus (MINAPIM), <http://www.suframa.gov.br/minapim>, Novembro.
- Papadimitratos, P. et. Al (2008) "Secure Neighborhood Discovery: A Fundamental Element for Mobile Ad Hoc Networking", IEEE Communications Magazine.