

Monitoramento Ambiental através de Rede de Sensores Sem Fio de Baixo Custo

Marcel Salvioni da Silva^{1,2}
Fabiano Fruett²

¹ Centro de Ciência, Tecnologia e Inovação do Pólo Industrial de Manaus - CT-PIM
Rua Salvador, 391 – Adrianópolis, CEP: 69057 -040, Manaus-AM, Brasil.
marcel@ctpim.org.br

² Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Caixa Postal 6101 CEP 13083-970 Campinas SP, Brasil.
fabiano@dsif.fee.unicamp.br

Abstract. A Wireless Sensor Network is presented in this paper. It is designed for monitoring Temperature, Relative Humidity and Atmospheric Pressure. The network contains four sensor nodes – which perform measurements and transmit them through a ZigBee® Network – and a coordinator node – which gathers all measurement data, stores them into a Flash Card and provides them through a HTML page accessed through an IP address. The coordinator also checks the signal transmission power from each sensor and registers it. It also has a real-time clock to stamp all measurements with the actual date it comes from the sensor nodes. The data from each sensor node are stored through a file in a SD/MMC card. The network uses 32-bit microcontrollers to enhance data processing and interface with peripherals, such as sensors with digital output. The sensor nodes use a Temperature and Humidity sensor from Sensirion and a Barometric Pressure sensor from Freecale. The microcontroller (especially for the node) also performs a deep power management to save energy from the battery. Tests performed with a prototype version – in a instrumented tower in the Amazon rainforest, with an atmospheric balloon and autonomy tests for the sensor nodes – demonstrate the network can be applied to Environmental Monitoring at a low cost deployment.

Palavras-chave: remote sensing, Wireless Sensor Network, Sensoriamento Remoto, Redes de Sensores Sem Fio.

1. Introdução

Com as mudanças de clima e de tempo, o monitoramento das variáveis de ambiente se torna uma ferramenta essencial para se compreender os efeitos das mudanças e permite a adoção de ações preditivas, adaptativas e corretivas. Para esta finalidade, são utilizadas diversas abordagens. A mais conhecida e mais ampla é o monitoramento do tempo através de imagens de satélite. Através delas, é possível realizar análise de temperatura, movimento de massas de ar, possibilidade de chuvas, focos de incêndio e queimadas. Para o monitoramento mais apurado de variáveis locais como temperatura ambiente, pressão atmosférica e umidade, contudo, as informações de satélites não são suficientes. Para este fim, são utilizadas estações meteorológicas que, além de fornecer informações sobre as variáveis citadas, ainda fornecem dados sobre materiais particulados (como fuligem), dióxido e monóxido de carbono, direção e velocidade do vento, radiação solar, entre outros.

Em se tratando da implantação da infraestrutura para realização destas pesquisas, um fator de forte impacto é a necessidade de se utilizarem cabos para a alimentação e comunicação entre sensores e sistemas de aquisição. Esta necessidade faz com que a estrutura e a logística de transporte e armazenamento prevejam o uso de vários metros de cabos que por sua vez apresentam um volume e peso consideráveis na aplicação das pesquisas, realizadas quase sempre em áreas de difícil acesso.

Para disponibilizar uma alternativa tecnológica a estas e outras aplicações, foi desenvolvido uma rede de sensores sem fio de baixo custo para ser aplicado a monitoramento ambiental.

2. Modelamento da Redes de Sensores

A tecnologia de redes de sensores sem fio é um campo bastante explorado pela área de instrumentação e medidas por combinar sensoriamento, computação e comunicação em um único e pequeno dispositivo (Hill, 2003). Na maioria das aplicações, a capacidade de processamento dos dispositivos é baixa para favorecer a autonomia de funcionamento. Porém, o uso de dezenas (e até centenas) destes dispositivos integrados em rede oferece possibilidades tecnológicas realmente novas. O poder das redes reside na habilidade de agregar um grande número de pequenos sensores que se organizam e se configuram independentemente. Os custos na instalação deste tipo de sistema tendem a ser minimizados uma vez que estruturas como conduítes, cabos e fios não são necessários, permitindo que uma dada área possa ser facilmente monitorada por centenas de sensores que automaticamente formam uma rede de interconexão e informam os dados sendo aquisitados. Um aspecto que reforça o uso das redes de sensores sem fio é o avanço no desenvolvimento de microsensores para medição de diversas grandezas (pressão, temperatura, umidade, fluxo de ar e calor, etc.) e detecção de elementos químicos (pH, CO₂, O₃, CH₃, gases tóxicos, etc.). Este desenvolvimento é reflexo dos avanços nas pesquisas com novos materiais e também das técnicas e métodos para microfabricação de sensores microeletrônicos. Os sensores microeletrônicos em especial realizam medidas com precisão com um baixo consumo de energia. A rede sem fio proposta é voltada para a aquisição de temperatura ambiente, umidade relativa do ar e pressão atmosférica.

A maioria das aplicações no campo das redes de sensores sem fio são projetadas sob restrições de energia de comunicação e largura de banda (Downes, 2006). Tais limitações levam a maioria das aplicações a limitar seus mecanismos de aquisição de dados a tipos de dados de baixa largura de banda, ou seja, a quantidade de dados transferida (*throughput*) (Salustiano, 2008) tende a ser pequena para não comprometer a autonomia de energia e o processamento de dados internamente ao nó. Desta forma, alguns projetos que aplicam redes de sensores se baseiam na ideia de permitir ao sensor que ‘interprete’ o comportamento do ambiente em vez de simplesmente realizar medidas e as transmitir através da rede. Tal concepção exige que os nós tenham uma capacidade de processamento maior, assim como uma maior capacidade de energia através de baterias de maior autonomia. A rede proposta para estas aplicações é composta por um nó coordenador e quatro nós sensores.



Figura 1. Visão conceitual da rede de sensores

2.1 Nó Sensor (mote)

O nó sensor (ou mote) é responsável por realizar a medir as variáveis ambientais, processá-las, deixá-las em um formato conhecido (caracteres ASCII) e transmiti-las pela rede para chegarem até o nó coordenador (*gateway*). Para esta finalidade, o nó é composto basicamente de um microcontrolador, um sensor de temperatura e umidade, um sensor de pressão e um módulo de comunicação sem fio.

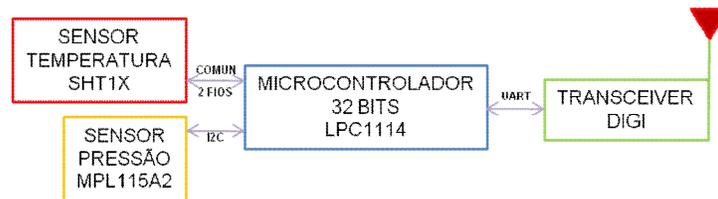


Figura 2. Diagrama em blocos do nó sensor da rede de sensores

Foi escolhido um microcontrolador de 32 bits da NXP com o núcleo de processamento Cortex-M0 desenvolvido pela ARM. Esta arquitetura foi recentemente lançada com o objetivo de combinar um processamento considerável a uma autonomia de energia, tendo sensores remotos como aplicações. O microcontrolador opera em frequências altas de até 50MHz e contém diversos periféricos. Estes periféricos permitem que vários sensores possam ter seus dados adquiridos e vários modos de comunicação possam ser implementados, de acordo com a área de aplicação da rede de sensores.

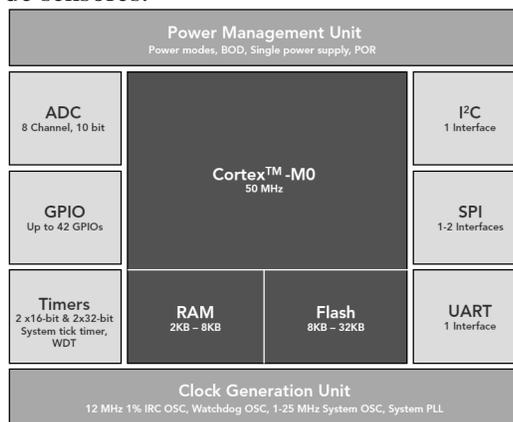


Figura 3. Arquitetura interna do microcontrolador LPC1114 (NXP, 2009).

Os sensores utilizados foram o sensor de temperatura e umidade produzido pela Sensirion e o sensor de pressão atmosférica produzido pela Freescale. O sensor de temperatura e umidade SHT1x da Sensirion é um sensor híbrido de saída digital com resolução de 14 bits e 12 bits para temperatura e umidade, respectivamente. Esta saída digital utiliza uma comunicação a dois fios particular a este sensor (Sensirion, 2009). O sensor de pressão barométrica da Freescale fornece valores de pressão barométrica absoluta na faixa de 50kPa a 115 kPa, com precisão de 1kPa. Além disso, ele também fornece valores de temperatura na faixa de -40 a 105 °C, colhidos a partir de um sensor interno (Freescale, 2009)

Para este trabalho, optou-se por eleger um módulo de comunicação sem fio para montagem de uma rede ZigBee operando na frequência de 2.4 GHz já empregado comercialmente e com custo compatível com o sistema proposto. O módulo escolhido foi o X-Bee Pro fabricado pela empresa Digi. Ele é um módulo que possibilita uma comunicação simples entre nós, através de uma interface UART por onde dados podem ser transmitidos e enviados (Maxstream, 2006). Além disso, ele possui um microcontrolador interno dedicado para diversas tarefas, portas de entrada/saída digitais e analógicas. No entanto, apenas a interface UART do módulo está sendo utilizada neste primeiro protótipo.

A bateria utilizada é de lítio-polímero. Dependendo do tamanho, pode chegar a mais de 1000mAh. Os nós sensores receberam baterias diferentes, com capacidade entre 260mAh e 700mAh.

A placa de circuito impresso foi desenhada em formato arredondado, conforme Figura 4.

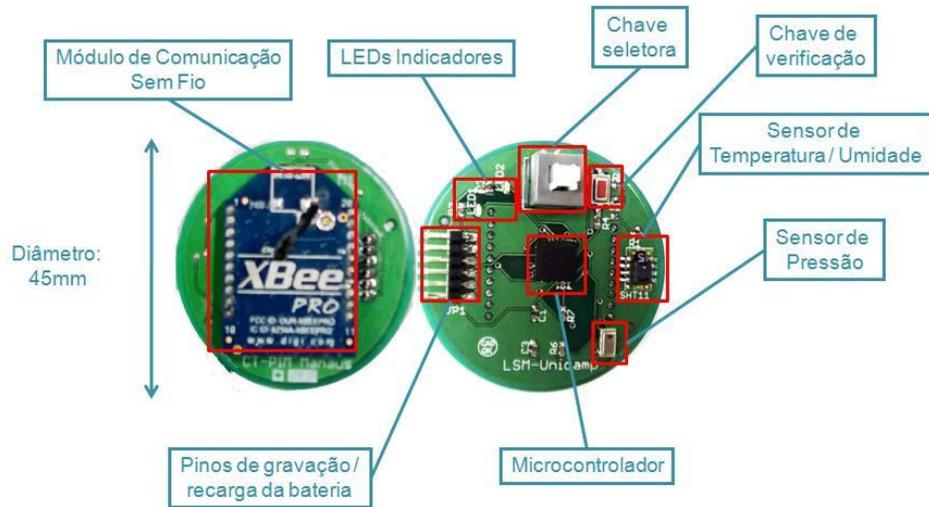


Figura 4. Placa de Circuito do Nó Sensor

2.2 Nó Coordenador (gateway)

O nó coordenador é responsável por receber as medidas dos nós sensores, gravá-los em uma memória física em formato de arquivo e disponibilizar uma página HTML com os valores das medidas de cada um dos nós, além de conter informações a respeito do nível de bateria e nível de sinal transmitido pelos nós. Para realizar estas funções o nó coordenador contém um microcontrolador, um módulo de comunicação, um cartão de memória Flash e um circuito de conexão à rede Ethernet. Além disso, um display de caracteres é utilizado para mostrar informações sobre relógio e identificação da rede. O microcontrolador contém ainda um relógio de tempo real, utilizado para referenciar todos os dados provenientes dos nós sensores

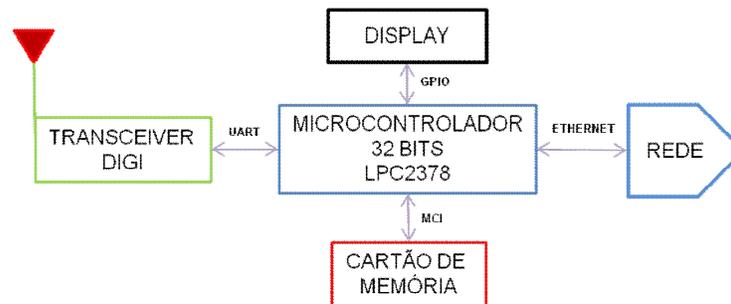


Figura 5. Diagrama em blocos do nó coordenador da rede de sensores

Este nó foi construído utilizando uma placa de referência com o microcontrolador, o circuito para uso de memória Flash, o display e o circuito para conexão à rede inclusos. O software embarcado permite que os dados sejam recebidos através do módulo de comunicação. Então as medidas são gravadas no cartão de memória, de modo que cada um dos sensores possui um arquivo contendo as medidas de temperatura, umidade e pressão, bem como o nível de bateria e a força do sinal para cada transmissão realizada. Através de um IP fixo, uma página HTML pode ser acessada contendo os últimos valores medidos e transmitidos por cada um dos nós sensores. Um exemplo da página é mostrado na Figura 6.

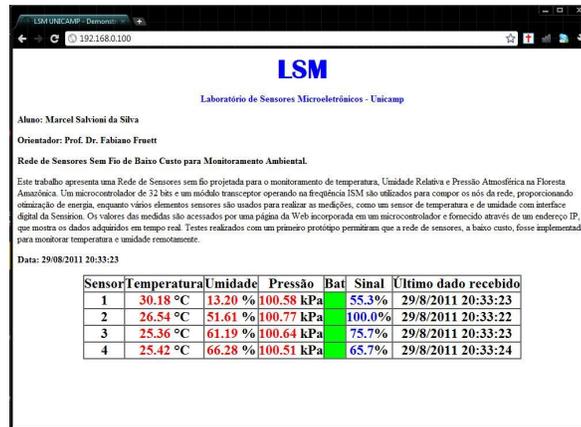


Figura 6. Página HTML exemplo com o resultado das medidas

3 Testes de aplicação

Foram realizados diversos testes de monitoramento através da rede proposta, entre eles testes de autonomia. Eles estão descritos a seguir.

3.1 Testes na torre instrumentada

Testes foram realizados em uma torre instrumentada situada numa fazenda experimental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Foram colocados dois sensores: um no topo e outro na base da torre. As medidas foram aquisitadas e foram gerados os seguintes gráficos apresentados na Figura 7:

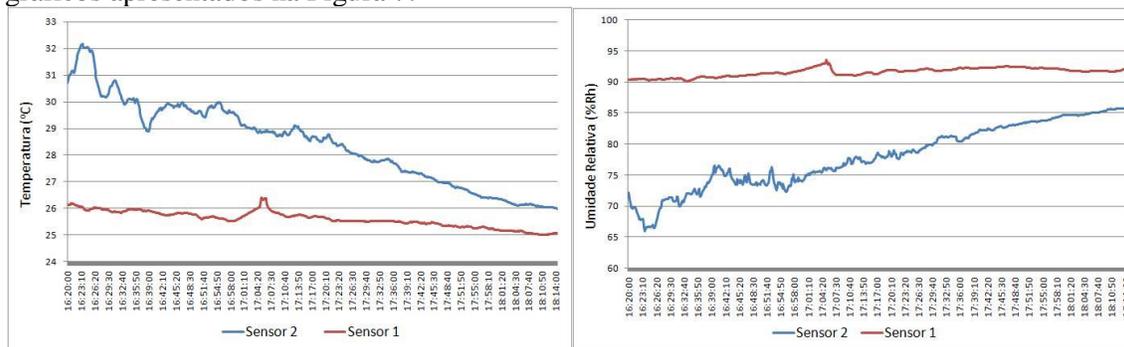


Figura 7. Temperatura (a) e Umidade (b) do sensor da base (1) e do topo (2)

3.2 Testes com balão atmosférico

Acompanhando experimentos do departamento de meteorologia da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), o sensor foi preso a um pequeno balão atmosférico – amarrado a uma corda de nylon – que carregava uma sonda instrumentada, composta de sensores de temperatura e umidade relativa, barômetro e anemômetro, a fim de que as mudanças nas variáveis ambientais na subida e descida no balão durante a noite fossem observadas e registradas. O balão atmosférico alcançou entre 60m e 80m de altura, subindo a uma velocidade média de 1,5m/s, deslocando-se ainda lateralmente com vento. A distância entre o nó sensor e o coordenador chegou a mais de 200m, onde a comunicação manteve-se contínua. Para este experimento, foi feito um ajuste no nó de teste de modo que o intervalo entre medidas fosse de 1 segundo. A sonda instrumentada, por padrão, estava ajustada para realizar medidas a cada 2 segundos. Após a realização dos testes, foram construídos os seguintes gráficos da Figura 6:

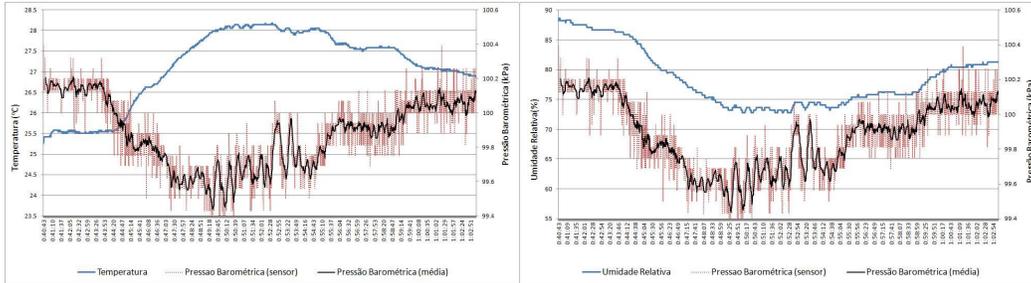


Figura 8. Temperatura (a) e Umidade (b) do sensor em comparação com a pressão atmosférica

As medidas da sonda instrumentada e do nó sensor foram comparadas e os valores de temperatura e umidade obtidos foram confrontados conforme apresentado na Figura 9:

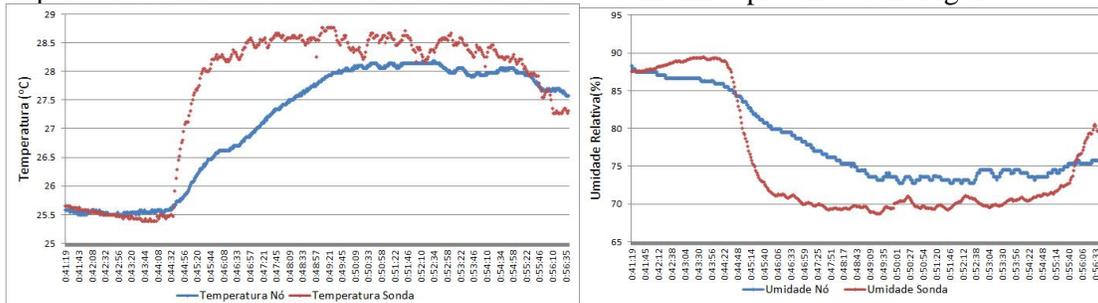


Figura 9. Temperatura (a) e Umidade (b) obtidos pelo nó sensor (azul) e pela sonda (vermelho)

3.3 Testes de autonomia

Para testar a autonomia da bateria, uma estrutura de testes foi montada para se monitorar a carga de uma bateria de 135mAh, medindo-se a corrente e a tensão da bateria desde a primeira medida até a queda total da carga da bateria. Para isso, foi utilizado um multímetro Keithley com interface serial e um sistema microcontrolado composto de um cartão de memória para comunicação com o multímetro, de forma que fosse possível adquirir as medidas de tensão e corrente da bateria com o nó operando normalmente. Após 26 dias de operação do nó, os valores de tensão e corrente da bateria variam conforme o gráfico na Figura 10 a seguir.

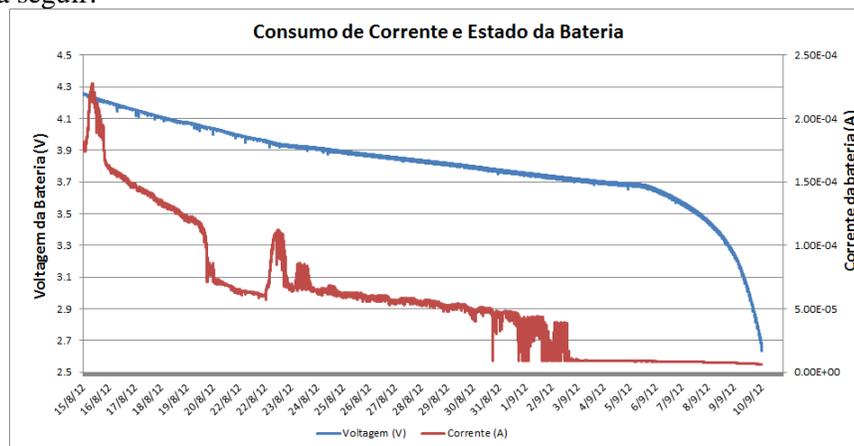


Figura 10. Resultado dos testes de autonomia

4 Resultados

Os testes com os sensores na torre instrumentada mostraram bastante coerência com os valores medidos pelos sensores da torre já utilizados. Por terem sido medidos no fim da tarde, os valores entre a base e o topo vão se tornando menores à medida que a noite chegava.

Os testes com o balão atmosférico mostraram uma boa resposta do sensor de pressão com a subida e descida do balão. No entanto, os valores de temperatura e umidade variaram bem mais lentamente do que os valores medidos pela sonda utilizada durante os experimentos principais. Depois de comparações entre a sonda e o nó sensor, foi concluído que o posicionamento do sensor na placa de circuito impresso a transformou em uma massa térmica para o sensor de temperatura e umidade. Com isso, o tempo de estabilização da temperatura foi maior que o esperado. Estes resultados levaram ao surgimento de uma nova versão do nó sensor, separando o sensor em uma placa própria e isolando o sensor da placa através de dois cortes laterais para acelerar o tempo de acomodação da temperatura. Esta nova versão do nó é apresentada na Figura 11:

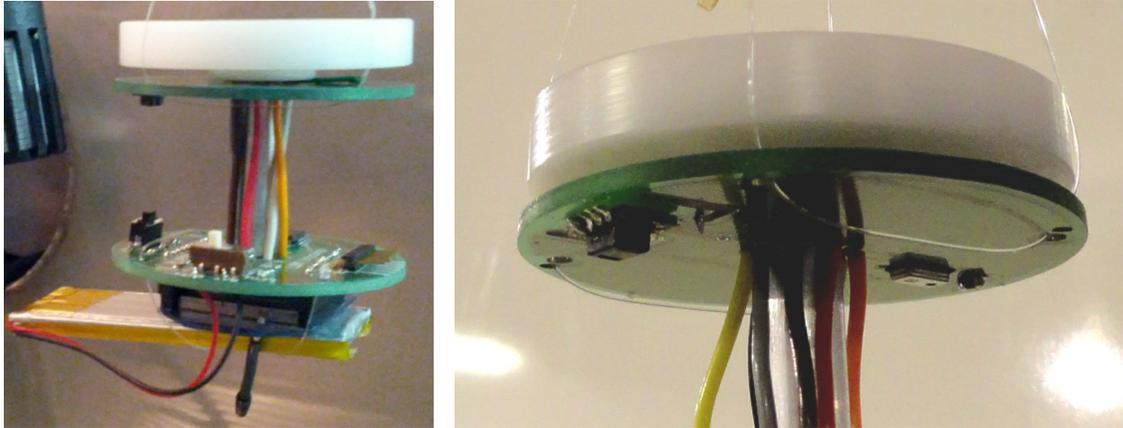


Figura 11: Nova versão do nó sensor (a) com detalhe da placa de sensores (b)

Os testes de autonomia se mostraram satisfatórios e provaram que o uso de baterias com maior capacidade (entre 480mAh e 700mAh) dão uma autonomia acima dos 90 dias estimados como o mínimo para permitir uma operação sem intervenções intermediárias.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CT-PIM (Centro de Ciência, Tecnologia e Inovação do Pólo Industrial de Manaus) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Sistemas Micro e Nanoeletrônicos – INCT NAMITEC – CNPq processo n. 573738/2008-4 e Fapesp processo n. 208/57862-6 pelo apoio financeiro, além da NXP pelo apoio técnico. Também agradecem ao Projeto LBA por permitir o acesso à Reserva Florestal para a avaliação da rede de sensores na Amazônia e ao departamento de meteorologia da Universidade do Estado do Amazonas por permitir experimentos paralelos com o balão atmosférico.

6 Referências

- Downes, Ian; Rad, Leili B. and Aghajan, Hamid(2006). **Development of a mote for Wireless Sensor Networks. Int. Proc. of Cognitive Systems and Interactive Sensors (COGIS)**, Paris.
- Freescale Semiconductor, 2009. **Miniature I2C Digital Barometer**, USA.
- Hill, Jason L. (2003).**System architecture for Wireless Sensor Networks**. University of California,Berkeley. Tese de Doutorado.
- Maxstream (2006). **XBee/Xbee Pro OEM RF Modules Product Manual**, Maxstream
- NXP (2009). **Get Better Code Density than 8/16 bit MCUs – NXP LPC1100 Cortex M0**, NXP
- Salustiano, Rogério and Reis Filho, Carlos A. (2008). **Barrier Synchronization Simulator for Wireless Sensor Network**. Int. Proc .Caribbean Conference on Devices Circuits and Systems, Mexico.
- Sensirion (2009) **Datasheet SHT1x – Humidity and Temperature Sensor**, Sensirion