

# ***XArmBee: Uma Arquitetura de Hardware Modular Multi-rádio para Gateways de Redes de Sensores Sem Fio***

Alexandre L. Martiniano<sup>1</sup>, Carlos M. S. Figueiredo<sup>2</sup>, João E. C. Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Tecnologia – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)  
Manaus, AM – Brasil

<sup>2</sup>Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica – (FUCAPI)  
Manaus, AM – Brasil

{alexandrelopes, jo\_edgar}@ufam.edu.br, mauricio.figueiredo@fucapi.br

**Abstract.** *This paper presents a modular architecture for hardware development and integration of various technologies of wireless communication (Bluetooth, GSM / GPRS, ZigBee and Wi-Fi) in a gateway for Wireless Sensor Networks (WSNs). The proposed architecture includes power management and selection of several technologies for wireless communication that will be used according to the application.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta uma arquitetura modular de hardware para viabilização e integração de diversas tecnologias de comunicação sem fio (Bluetooth, GSM/GPRS, ZigBee e Wi-Fi) em um gateway para Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs). Desta forma, a proposta visa solucionar um problema pouco explorado de forma prática, que consiste na coleta presencial e remota de dados de redes geograficamente distribuídas. A arquitetura modular proposta contempla o gerenciamento de energia e a seleção da tecnologia de comunicação sem fio que será utilizada de acordo com a aplicação.*

## **1. Introdução**

Uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) [Akyildiz et al., 2002] é uma rede sem fio formada por um grande número de sensores pequenos e dispostos em uma determinada região para detectar e transmitir alguma característica física do ambiente (temperatura, pressão etc.). Em geral, os sensores encontram-se acoplados com elementos computacionais (microprocessadores) de pequenas dimensões e dispositivos de comunicação sem fio (rádios-transceptores) formando os nós sensores. O potencial de aplicação de tal arquitetura de monitoramento tem sido considerado em diversos contextos, tais como de monitoramento ambiental, militar e industrial [Arampatzis et al., 2005], tornando-a uma área de pesquisa bastante ativa.

Um importante elemento dessas redes é o dispositivo que faz a integração das RSSFs com outras redes de comunicação. Estes elementos são denominados de *gateways*. Normalmente, esses dispositivos compartilham da rede sem fio para a coleta dos dados sensorizados e estão interligados a uma infra-estrutura computacional mais robusta de forma a permitir o devido armazenamento, processamento e consulta sobre dados coletados. A *interface* entre o *gateway* e essa rede externa pode ser feita através

de uma conexão *USB* com um computador ou por outras *interfaces* de redes a cabo ou sem fio que o dispositivo possa disponibilizar.

Um problema pouco explorado de forma prática em RSSFs consiste na coleta remota de dados de redes geograficamente distribuídas. A questão é que para cobrir vastas áreas de monitoramento uma única rede se torna inviável por requerer uma imensa quantidade de dispositivos que promovam a interconexão sem fio ao longo de toda a área de interesse. Desta forma, espera-se que RSSFs independentes sejam distribuídas geograficamente em sub-áreas de interesse, mas que de alguma forma dados coletados em cada uma possam ser concentrados para armazenamento e análise posterior. Para isso, existem diferentes estratégias para a conexão de um *gateway* de uma rede *ZigBee* com uma rede utilizando outra tecnologia de comunicação. Um cenário para essa aplicação seria vários pontos de coleta (nós sensores) situados em uma região metropolitana, enviando os dados monitorados para o *gateway* através de uma rede *ZigBee*, este por sua vez com acesso a uma rede celular *GSM/GPRS*, utilizando-se dessa tecnologia para o envio dos dados coletados a uma central. Em outros pontos de coleta sem a cobertura de uma rede celular, um operador desloca-se para uma determinada região próxima ao *gateway* para descarregar os dados em um computador ou dispositivo móvel para posterior transporte à central utilizando-se da tecnologia *Bluetooth*.

Um *gateway* de uma RSSF deve prover os requisitos básicos, como por exemplo, agregação de dados dos sensores, duas vias para troca de dados, programação de nós sensores e gerenciamento de acesso para o usuário [Ping et. al., 2008]. Diante dos trabalhos existentes na literatura, pode-se observar diversas arquiteturas para o projeto de *gateways*, alguns poucos se preocupam com a versatilidade na parte de comunicação do *gateway* e geralmente consideram uma única forma de comunicação deste com o mundo externo [Silva et. al., 2004]. Outro problema é a forma de seleção eficiente entre múltiplos rádios-transceptores e os parâmetros utilizados na transmissão de forma a obter um menor consumo de energia.

Diante do problema considerado, este trabalho apresenta uma proposta que consiste em investigar e propor uma arquitetura de *hardware* modular multi-rádio para *gateways* de RSSFs, ou seja, uma arquitetura com suporte as tecnologias de comunicação sem fio: *ZigBee*, *Bluetooth*, *GSM/GPRS* e *Wi-Fi*, permitindo a coleta de dados de diferentes RSSFs geograficamente distribuídas. O objetivo é concentrar essa investigação em aspectos tecnológicos práticos que permitam a integração dessas diferentes tecnologias em uma solução prática e real. A arquitetura proposta deve proporcionar a coleta de dados de RSSFs distribuídas, o gerenciamento de energia da plataforma de *hardware* e a seleção eficiente entre os rádios-transceptores de acordo com a aplicação e necessidade. Com a arquitetura proposta, pode-se facilmente construir soluções de coleta de dados alternativas como ilustrado na Figura 1.

As principais contribuições consistem em introduzir no projeto de *hardware* a capacidade de seleção entre a tecnologia de comunicação sem fio a ser utilizada dependendo da aplicação, a gerência de energia por módulo ativando quando necessário e desativando para economia de energia, a multiplexação de uma interface de comunicação para utilização de diferentes rádios-transceptores, a possibilidade de expansão e adaptação de novos módulos transceptores desde que utilizem uma interface de comunicação compatível com a arquitetura.

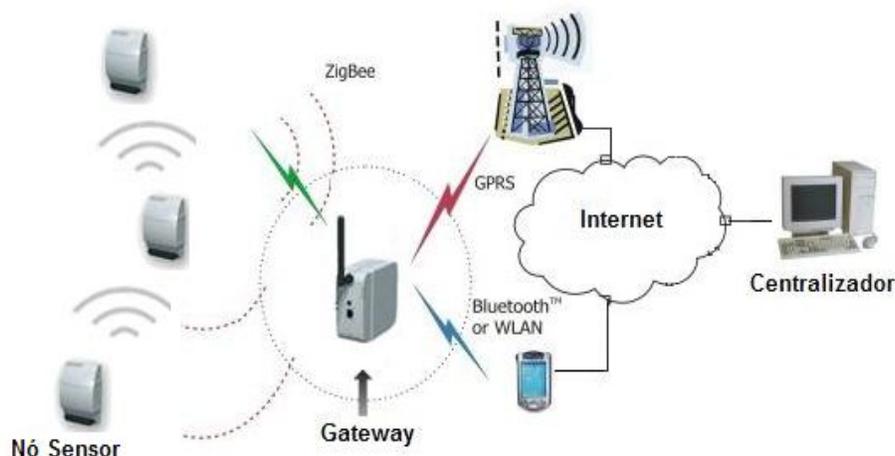


Figura 1. Topologia típica de Redes de Sensores Sem Fio

## 2. Fundamentos e Trabalhos Relacionados

A fim de agrupar as referências sobre os trabalhos relacionados estabelecemos os seguintes tópicos: Arquitetura de nós sensores e Arquitetura de *gateways*.

### 2.1. Arquitetura de Nós Sensores

A construção de uma RSSF tem como principal requisito o projeto e a disposição dos nós sensores [Karl and Willig 2005], não deixando de suprir os requisitos específicos de uma determinada aplicação. Um nó sensor é basicamente constituído por uma unidade de energia, unidade de processamento, unidade de comunicação e uma unidade de sensoriamento.

Um dos primeiros projetos surgiu com uma família de nós sensores desenvolvidos por pesquisadores da Universidade da Califórnia, *Berkeley (UCB)* que são conhecidos como *Motes*. Esses nós sensores foram desenvolvidos tendo como principal objetivo o menor consumo de energia possível durante suas atividades [Silva et. al., 2004].

A primeira geração, implementada como projeto, tem como referência a tese de doutorado de *Seth Hollar* [Hollar 2000], é conhecida como *Macro Motes* ou *COTS Dust Motes*, em seguida uma segunda geração foi desenvolvida, os *Rene Motes* e finalmente, a última geração, formada pelos *MICA Motes* e *Smart Dust*.

Uma característica marcante dos *Motes* é a utilização de apenas um tipo de tecnologia de comunicação sem fio (*ZigBee*) e outra o baixo poder de processamento, com isso diminuindo o consumo de energia. Pode-se citar algumas evoluções como a adaptação de microcontroladores com maior poder de processamento, embora mantendo o baixo consumo, e outras opções utilizadas na tecnologia de comunicação sem fio, como por exemplo, *Bluetooth*, *IrDA*. Em alguns casos a utilização de memória *flash* de maior capacidade, e sistemas de gerenciamento de energia possibilitam que a arquitetura tenha maior autonomia. Na Figura 2, verifica-se o crescimento em um curto espaço de tempo das tecnologias aplicadas aos *Motes*. Pode-se conferir ainda a impressionante

evolução na dimensão dos *Motes*, aumentando deste modo, a gama de aplicações desta tecnologia.

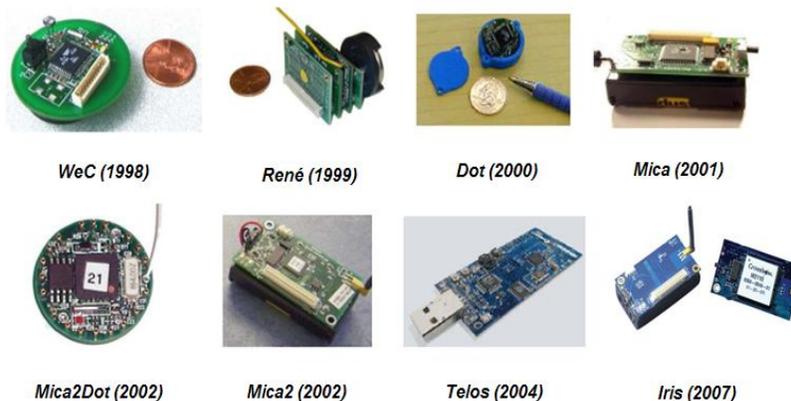


Figura 2. Evolução dos *Motes*

## 2.2. Arquitetura de Gateways

O *SPB400 – Stargate Gateway* [Stargate Gateway 2004], da *Crossbow* é um computador em uma única placa com pequenas dimensões baseado no S.O *Linux* que possui pontos de acesso que conectam uma *RSSF* a outra de maior capacidade sem a necessidade de um computador ou servidor. Múltiplas *interfaces* como *Ethernet*, *USB*, *Serial* são disponíveis e até *slots PCMCIA* e *Compact Flash*, propiciando conexões adicionais, como *Wi-Fi*. O *SPB400* não possui uma flexibilidade para adaptação de novos módulos de comunicação sem fio, pois possui uma estrutura rígida. Outro ponto importante é a parte de gerenciamento de energia, que necessita de uma fonte externa para que o *gateway* possa exercer todas as suas funcionalidades.

O *NB100 – Stargate NetBridge* [NB100 Stargate NetBridge 2007], da *Crossbow* é uma versão atualizada do *SPB400 – Stargate Gateway*, possui um processador *Intel IXP420 XScale*, equipado com memória *flash* de *8MB*, *32MB* de *RAM* e um disco de sistema de *2GB USB 2.0*. Possui *interface* de comunicação *ethernet*. O *NB100* tem como diferencial o alto poder de processamento e armazenamento de dados, mas possui os pontos fracos citados para o *SPB400*.

O *Uber Board – Development Kit* [Uber Board 2009] é uma plataforma de desenvolvimento de comunicação sem fio (*Bluetooth* e *GSM/GPRS*) comercial que possui características para testes e fácil integração com redes *ZigBee*. Sendo uma plataforma de testes, não possui gerenciamento de energia. Tem como diferencial o método utilizado para multiplexar uma *interface* de comunicação, possibilitando uma flexibilidade limitada para expansão de módulos de comunicação sem fio. Não possui gerenciamento de energia, necessitando de um adaptador *DC* (fonte externa) para o seu funcionamento.

O *Waspnote* [Waspnote 2010] é uma arquitetura baseada em uma estrutura modular. A ideia é integrar somente os módulos necessários para uma determinada aplicação. Os módulos suportados são: *ZigBee*, *GSM/GPRS*, *GPS*, *Sensor* e *SD Card*.

Tem um microcontrolador *ATmega 1281* que é o núcleo da unidade de processamento e gerencia toda a arquitetura. Tem como diferencial a multiplexação da *UART* para comunicação com diversos módulos, mas o gerenciamento de energia para cada módulo e a expansão da *interface* de comunicação não são implementados na arquitetura.

Todas as arquiteturas apresentadas são comerciais, e sempre interligam uma RSSF a uma rede de maior capacidade ou a *Internet* através de uma tecnologia de comunicação rígida geralmente uma conexão *ethernet* ou sem controle sobre o gerenciamento de energia, fundamental em RSSFs. Podemos visualizar as arquiteturas de *gateway* na Figura 3.



Figura 3. Arquiteturas Comerciais de Gateways para RSSFs

### 3. Descrição da Arquitetura de *Hardware XArmBee*

O modelo funcional proposto para o *gateway* é composto basicamente por três unidades: (i) Unidade Gerenciamento de Energia; (ii) Unidade Processamento e Armazenamento de Dados e (iii) Unidade Comunicação e *Interface*. A Figura 4 apresenta em diagrama em blocos o modelo funcional proposto, que tem suas partes detalhadas nos itens a seguir.

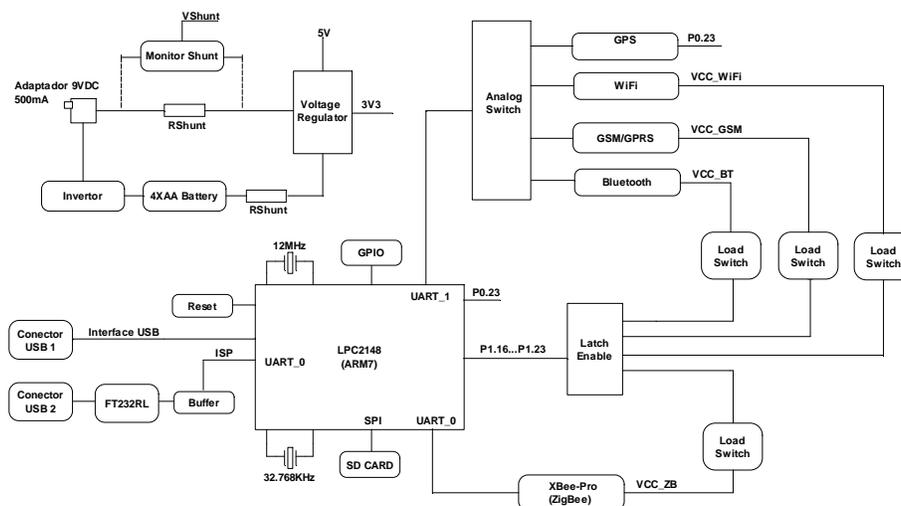


Figura 4. Diagrama em Blocos Arquitetura *XArmBee*

A Figura 5 apresenta a implementação do protótipo funcional da arquitetura *XArmBee*, destacando cada módulo da arquitetura. A estrutura modular foi desenvolvida utilizando-se placas circulares montadas sobrepostas em camadas, sendo a primeira camada a Unidade Gerenciamento de Energia, a segunda Unidade Processamento e Armazenamento de Dados e a última camada a Comunicação e Interface. A montagem em camada visa a fácil substituição de módulos e até mesmo a adaptação de novos módulos ou expansão da capacidade da arquitetura.

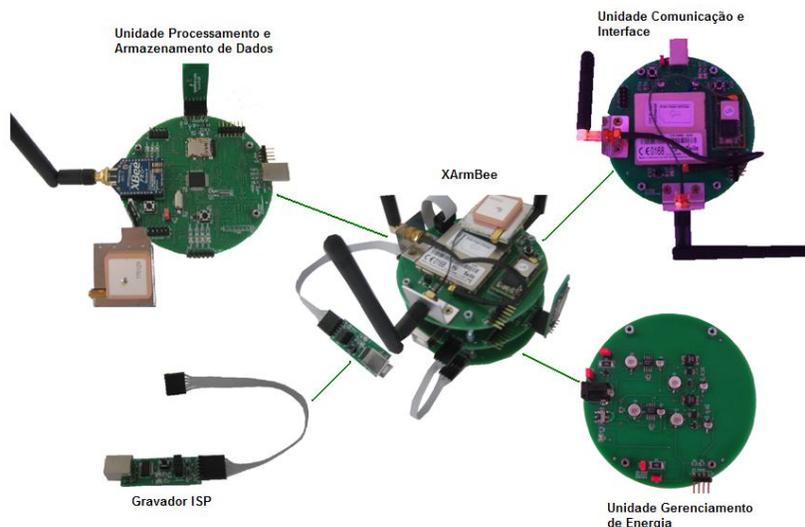


Figura 5. Componentes da Arquitetura *XArmBee*

### 3.1. Unidade Gerenciamento de Energia

O *gateway* através da Unidade Gerenciamento de Energia pode ter sua alimentação feita através de uma fonte externa de  $9\text{ VDC}/500\text{mA}$  ou através de uma bateria formada por quatro pilhas do tipo AA.

Analisando o diagrama em blocos apresentado na Figura 4, verificamos que quando a alimentação é realizada por uma fonte externa um sinal de entrada de  $9\text{ VDC}$  é aplicado ao sistema. Esse sinal irá para a entrada do regulador de tensão de  $5\text{ VDC}$ , e sua saída para outro regulador de  $3\text{V3}$ , gerando desta forma os níveis de tensões  $5\text{ VDC}$  e  $3.3\text{ VDC}$  necessários para o funcionamento do sistema. Para monitoramento do consumo de corrente, um resistor *shunt* foi adicionado e um *monitor shunt INA138* [INA138 1999]. O *INA138* basicamente amplifica o sinal de tensão sobre o resistor *shunt* conectado em série com o sistema. A tensão medida  $V_{Shunt}$  é proporcional ao nível de corrente consumida pelo sistema. A saída de tensão analógica pode ser facilmente visualizada em um osciloscópio com uma taxa de amostragem de  $4\text{ GSa/s}$  e  $1\text{ GHz}$  de banda ou medido através de um multímetro de precisão.

Quando a fonte externa é desconectada do sistema o sinal de  $9\text{ VDC}$  tem seu nível de tensão igual a zero, habilitando através de dois inversores a alimentação do sistema por uma bateria formada por quatro pilhas AA. Uma vez habilitada, a bateria fornece uma tensão de  $6\text{ VDC}$  aplicada a dois conversores *DC-DC* do tipo *Boost*

[MAX1797 2000], que fornecem os níveis de tensões 5 VDC e 3.3 VDC mantendo o funcionamento do sistema.

A medição do consumo de corrente também pode ser realizada do mesmo modo, pois um resistor shunt foi adicionado em série com a bateria. A principal característica da unidade é o chaveamento automático do modo alimentação, o gerenciamento dos níveis de tensões e a possibilidade de monitoramento do consumo de energia do sistema.

### 3.2. Unidade Processamento e Armazenamento de Dados

A Unidade Processamento e Armazenamento de Dados é o núcleo principal da arquitetura, é responsável pelo monitoramento, processamento e gerenciamento de todo o sistema. A unidade é composta pelo microcontrolador *LPC2148 (ARM7TDMI-S)* [NXP LPC2141/42/44/46/48 2005] da *Philips* de 32 bits com 512 KB de memória *Flash*, 32 KB de memória *RAM*, suporte a interface *ISP/IAP* via *software bootloader* contido no próprio circuito integrado. Possui controlador *USB 2.0 Full-Speed* integrado. Diversas interfaces de comunicação como: 2 *UARTs*, *SPI*, e *I2C*, dois conversores *ADCs* com 14 canais de 10 Bits cada, um conversor *DAC*, *PWM* e 45 linhas de *GPIO*. Frequência máxima de 60 MHz de operação da *CPU*, programável através de *PLL* integrado. Tensão de operação na faixa de 3.0 VDC a 3.6 VDC. Com todas essas características o microcontrolador é indicado pelo *datasheet* do fabricante para o desenvolvimento de *gateways* de comunicações e conversores de protocolos.

O princípio de funcionamento da unidade é baseado no recebimento de dados monitorados de uma rede *ZigBee* através da *UART\_0* e armazenados em um *SD Card* de 2 GB para de acordo com requisições aleatórias ou em períodos definidos do dia, das interfaces de comunicações (*Bluetooth*, *GSM/GPRS* ou *WiFi*) que estão multiplexadas através da *UART\_1* sejam transferidos para um banco de dados centralizador para posterior análise. Para o seu correto funcionamento a unidade precisa de um *clock* de 12 MHz para gerar a frequência de operação da *CPU* que pode ser um valor múltiplo de 12 definido pelo *PLL* interno limitando-se ao valor máximo de 60 MHz. Necessita também de um *clock* de 32.768 KHz para o *RTC* interno utilizado para ativar o sistema em tempos definidos. A atualização do *firmware* do sistema é realizada através da interface *ISP*. Existe um barramento de controle (*Latch tipo D - 74HC573*) para gerenciar a ativação dos módulos de comunicação. Tudo feito através de pinos dedicados do microcontrolador para essas funções. A unidade ainda possui uma interface *USB 2.0* e pinos de expansão (*GPIO*) para conexão de sensores/atuadores.

### 3.3. Unidade Comunicação e Interface

A Unidade Comunicação e Interface é responsável pela seleção do rádio-transceptor que será utilizado na comunicação sem fio, atribuindo dessa forma características para o *gateway* de comunicação multi-rádio, através dos seguintes módulos: *Xbee – PRO (ZigBee)*, *BlueSmirf (Bluetooth)*, *Telit GM862-QUAD (GSM/GPRS)* e *NanoReach (WiFi)* selecionados para o sistema, pois possuem interface de comunicação o padrão *UART (RS-232)* baixo consumo de energia e portabilidade.

A unidade tem como princípio de funcionamento a ativação do rádio-transceptor através do barramento de controle, posteriormente a seleção da porta *UART* a ser utilizada realizada através do chaveador analógico *TS3A5017* e por fim a transferência de

dados do *SD Card* da unidade de processamento e armazenamento de dados para o rádio-transceptor desejado. Com isso temos o gerenciamento da energia utilizada por cada rádio-transceptor definindo o tempo que o mesmo permanece ativado e desativado. O sinal de ativação e desativação de cada módulo é proveniente do *Latch* que aciona um chaveador de potência (*Load Switch*), habilitando a energização do módulo para o correto funcionamento. O multiplexador possui 4 entradas e 1 saída, trabalhando na faixa de 2.3 a 3.6 VDC, podendo multiplexar tanto sinais analógicos como digitais.

Por fim, uma plataforma de *hardware* para *gateways* de redes de sensores sem fio multi-rádio que provê uma solução completa em *hardware* para aplicações de coleta de dados conforme a necessidade dos cenários e aplicações apresentados.

#### 4. Experimentos e Avaliação

A principal característica da arquitetura *XArmBee* é o suporte a múltiplas *interfaces* de comunicação sem fio, sendo expansível a outras tecnologias que tenham o padrão de comunicação feito através de uma *interface UART*. A arquitetura tem como princípio de funcionamento a gerência do consumo de energia por módulo, ou seja, o módulo é ativado somente quando selecionado e em determinados instantes de tempo, proporcionando uma maior autonomia a arquitetura.

Para validação desta funcionalidade realizou-se os experimentos de medição do consumo de corrente de acordo com o chaveamento realizado entre os módulos de comunicação. A Figura 6 apresenta os procedimentos realizados para medição do consumo de corrente do rádio-transceptor *XBee-PRO (ZigBee)*.

A medição da tensão *VShunt* resultou em um nível de tensão de 0,129 V que aplicado na equação abaixo, com os valores de  $R_L = 5 \text{ K}\Omega$  e  $R_S = 1,5 \Omega$ , tem-se o seguinte valor de  $I_S$ :

$$V_0 = \frac{I_S \times R_S \times R_L}{5k}$$
$$I_S = \frac{0,129 \times 5k}{1,5 \times 5k} = 0,086A$$

O valor de  $I_S$  corresponde ao acionamento somente do módulo *ZigBee*.

A medição dos valores de corrente para os outros módulos segue o mesmo procedimento tendo como princípio a habilitação do módulo e o chaveamento da *interface* de comunicação. Para validação utiliza-se um código simples para teste da funcionalidade.

A arquitetura possui quatro leds que estão conectados ao *Latch Enable* com isso podemos visualizar quando um módulo está ou não ativo. Observamos a mudança de acionamento entre módulos.

O protótipo funcional da arquitetura *XArmBee* apresentado na Figura 5, pode atuar como nó sensor, quando utiliza somente o módulo de comunicação *ZigBee*.



**Figura 6. Medição do Consumo de Corrente e Chaveamento entre os Módulos de Comunicação**

A Tabela 1 demonstra um comparativo entre o *XArmBee*, atuando como nó sensor e outras arquiteturas. Verifica-se o grande potencial de processamento e armazenamento de dados com a possibilidade de expansão das conexões de comunicação sem fio.

**Tabela 1. Comparativo entre as características de processamento da Arquitetura *XArmBee***

	BTNode rev3	Mica2	Mica2Dot	Tmote Sky	IMote	XArmBee
<b>Microcontrolador</b>	ATMega128L	ATMega128L	ATMega128L	MSP430F	ARM7	ARM7
<b>Arquitetura</b>	8-Bit	8-Bit	8-Bit	16-Bit	32-Bit	32-Bit
<b>Velocidade</b>	7.37 MHz	7.37 MHz	4 MHz	8 MHz	12 MHz	12 MHz
<b>Memória de Programa</b>	128 KB	128 KB	128 KB	48 KB	512 KB	512 KB
<b>Memória de Dados</b>	64 KB	4 KB	4 KB	10 KB	11 KB	32 KB
<b>Memória de Armazenamento</b>	180 KB SRAM	512 KB	512 KB	1024 KB	-----	2 GB
<b>I/O Externos</b>	40	51	18	16	30	45

## 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou uma arquitetura de *hardware* modular multi-rádio que proporciona uma flexibilidade no projeto e desenvolvimento de aplicações para RSSFs, como por exemplo, a coleta presencial e remota entre redes geograficamente distribuídas verificando a convergência de dados entre redes de diferentes tecnologias de comunicação sem fio, e com uma relação de consumo de energia x aplicações específicas aceitáveis tornando-se uma solução completa em um *hardware* específico. A principal inovação consistiu em introduzir no projeto de *hardware* a capacidade de seleção entre a tecnologia de comunicação sem fio, ou seja, quatro rádios-transceptores serão utilizados, sendo que o *ZigBee* estará sempre ativo e os demais poderão ser acionados dependendo da necessidade, tudo realizado na própria rede, sem a intervenção de um agente externo.

Como trabalhos futuros, pretende-se avaliar a adaptação de uma nova família de microcontroladores com mais *interfaces* seriais e um *RTOS (Real-Time Operating System)* para a arquitetura com *APIs* desenvolvidas visando o baixo consumo de energia.

### **Agradecimentos**

Este trabalho foi suportado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, sob o projeto PIPT 1509/08.

### **Referências**

Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cyirci, E. (2002). Wireless Sensor Networks: A Survey. *Computer Networks*, 38, 393-422.

Arampatzis, T., Lygeros, J., Manesis, S. (2005). A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks. *Med'05: Proceedings of the 13th Mediterranean Control Conference, IEEE*, 719-724.

Hollar, S. (2000). COTS Dust. *Master's Thesis. Electrical Engineering and Computer Science Department. UC Berkeley.*

Karl, Holger and Willig, Andreas. (2005). Protocols and architectures for wireless sensor networks. *John Wiley & Sons, Ltd.*

INA138 High-Side Measurement Current Shunt Monitor. (1999). Disponível em: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/ina168.pdf>. *Datasheet*. Acesso em: Jan 2010.

MAX1797 Low Supply Current Step Up DC-DC Converters with True- Shutdown. (2000). Disponível em :[http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1795\\_MAX1797.pdf](http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1795_MAX1797.pdf). *Datasheet*. Acesso em: Jan 2010.

NB100 Stargate NetBridge. (2007). Disponível em: <http://www.xbow.com/Products/productdetails.aspx?sid=275>. *Crossbow, Inc.* Acesso em: Jan 2010.

NXP LPC2141/42/44/46/48. (2005). Disponível em: [http://www.nxp.com/pip/LPC2141\\_42\\_44\\_46\\_48\\_4.html](http://www.nxp.com/pip/LPC2141_42_44_46_48_4.html). *Datasheet*. Acesso em: Fev 2010.

Ping, Song., Chang, Chen., Kejie, Li., Li, Sui. (2008). The Design and Realization of Embedded Gateway Based on WSN. *International Conference on Computer Science and Software Engineering*, csse, vol. 4, pp.32-36.

Silva, Fabrício., Braga, Thais R., Ruiz, Linnyer B., Nogueira, José M. S. (2004). Tecnologia de Nós Sensores Sem Fio. *Revista Controle e Instrumentação*.

Stargate Gateway. (2004). Disponível em: <http://www.xbow.com/Products/productdetails.aspx?sid=229>. *Crossbow, Inc.* Acesso em: Jan 2010.

Uber Board. *Development Kit*. (2009). Disponível em: [http://www.sparkfun.com/commerce/product\\_info.php?products\\_id=556](http://www.sparkfun.com/commerce/product_info.php?products_id=556). *Sparkfun, Inc.* Acesso em: Jan 2010.

Waspote. (2010). *Libelium, Inc.* Disponível em: [www.libelium.com/waspote](http://www.libelium.com/waspote). *Datasheet*. Acesso em: Jan 2010.