



DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE OPEN SOURCE PARA CONTROLE DIGITAL REMOTO UTILIZANDO TECNOLOGIA ZIGBEE

Ricardo Oliveira Gomes – ricardoogomes@hotmail.com

Layon Mescolin de Oliveira – layonmescolin@hotmail.com

Lindolpho Oliveira de Araújo Júnior – lindolpho@leopoldina.cefetmg.br

Ângelo Rocha de Oliveira – angelo@leopoldina.cefetmg.br

CEFET-MG Campus Leopoldina

Rua José Peres, 558.

36700000 – Leopoldina – Minas Gerais

***Resumo:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um software didático open source para comunicação, controle e sensoriamento wireless utilizando a tecnologia ZigBee. Por ser uma tecnologia recente, não há muitas informações e softwares disponíveis direcionados a esta aplicação, com isso, viu-se necessário além da implementação de um software didático, de fácil utilização e de código aberto, uma introdução sobre todo processo para se dominar o básico sobre a tecnologia ZigBee e aplicações com esta tecnologia.*

***Palavras-chave:** ZigBee, Rede wireless, Software open source, Controle digital.*

1. INTRODUÇÃO

O uso de controladores digitais em indústrias, aplicações acadêmicas, automação residencial, tem se disseminado nos últimos anos. De diversas maneiras, a utilização desses controladores facilita muito diversos processos, tornando-os automatizados e seguindo sempre uma lógica computacional.

Recentemente, Redes de sensores sem fio (RSSF) tem sido um tema de pesquisa bastante explorado. Uma WSN pode ser projetada com objetivos diferentes, a fim de recolher e processar dados provenientes do ambiente, de modo a obter uma melhor compreensão do comportamento da entidade monitorada, além de poder ser projetada para monitorar um ambiente para a ocorrência de um conjunto de eventos possíveis.

As RSSF têm sido utilizadas em diferentes ambientes para monitoramento de variáveis, como temperatura, pressão e umidade. As RSSF representam uma tecnologia consideravelmente nova, que promete funcionalidades a ser exploradas para monitorar, instrumentar, e, até mesmo controlar processos físicos (LOUREIRO, 2007).

Todavia, apesar da crescente popularização do Padrão Zigbee, o entendimento do funcionamento dos sensores nessas redes, a abstração dos conceitos e o processo de ensino aprendizagem dessa tecnologia em sala de aula, ocasionam numerosos desafios(SILVA, 2011).

Por ser uma tecnologia em evolução, cabe ao engenheiro que a utiliza projetar diferentes mecanismos para sua utilização. Ao utilizar um controlador digital wireless para aplicações laboratoriais, permite-se ao engenheiro uma gama de oportunidades.

A escassez de informação sobre a tecnologia *ZigBee* motivou a realização deste trabalho. A utilização de novas alternativas está diretamente ligada com o avanço da aprendizagem laboratorial e em um curso de engenharia de controle e automação, desta forma passa-se ao estudante uma opção de controle e sensoriamento remoto para diversas aplicações não apenas para o curso de controle e automação, mas também para os diversos cursos de engenharia.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um controlador digital de código aberto com tecnologia de comunicação sem fio *ZigBee* com o objetivo de proporcionar aos estudantes de engenharia o desenvolvimento de diversas aplicações utilizando essa tecnologia.

2. ZIGBEE

De acordo com os próprios desenvolvedores, a tecnologia *ZigBee* é a única tecnologia baseada em padrões sem fio, projetada para atender às necessidades únicas de baixo custo de sensores sem fio, baixo consumo de energia e redes de controle em praticamente qualquer mercado (ZIGBEE TECHNOLOGY, 2013). O *ZigBee* pode ser usado em praticamente qualquer lugar, é de fácil implementação, possibilitando a oportunidade de crescimento da tecnologia em novos mercados, bem como a inovação nos mercados existentes.

2.1. Padrão IEEE 802.15.4 e Camadas de Protocolo

O Padrão IEEE 802.15.4 veio para suprir algumas lacunas nas resoluções de outras tecnologias sem fio. Esta resolução se aplica a equipamentos para redes simples, os quais não exigem muita complexidade, com baixo custo e economia de energia. O padrão *ZigBee* opera na especificação IEEE 802.15.4 rádio físico e opera em bandas não licenciadas, incluindo 2,4 GHz, 900 MHz e 868 MHz. A especificação 802.15.4 em que o *ZigBee* opera ganhou ratificação pelo Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), em 2003. A especificação é um protocolo de rádio baseado em pacotes destinados ao baixo custo e dispositivos alimentados por bateria.

Este padrão tem como suas principais características:

- Taxa de dados de 250 kbps, 40 kbps e 20 kbps;
- Dois modos de endereçamento de 16 bits; curtas e 64-bit IEEE;
- Estabelecimento de rede automática pelo coordenador;

Ficou decidido pela *ZigBee Alliance* que a camada de baixo nível (enlace e física) seria composta pelo padrão 802.15.4 e a camada de mais alto nível seria de responsabilidade do *ZigBee*. Desta forma, caso algum dos protocolos seja alterado, sua modificação pode ser feita a partir da atualização do firmware dos módulos.

Existem três tipos de equipamentos em uma rede *ZigBee* (RAMALHO, 2011).

- *ZC – ZigBee Coordinator* (Coordenador): Trata-se do dispositivo FFD com a função de inicializar, distribuir os endereços, manutenção da rede e distribuição de todos os nós.



- **ZR – ZigBee Router (Roteador):** Tem características de um nó ordinário na rede, através do roteamento é possível expandir a rede e por consequência o alcance da aplicação.
- **ZED – ZigBee End Device (Dispositivo Final):** É onde se localizarão os atuadores e sensores. Está diretamente ligado ao consumo da tecnologia, pois neste ponto da topologia é possível a ativação do *sleep mode*.

A comunicação entre os *ZigBee's* pode ser realizada utilizando dois modos de comunicação, o modo AT, padrão em modems, etc. Onde a comunicação é feita através de comandos de texto, ex: ATND, ATD0. Neste modo fica transparente ao usuário o que realmente esta sendo enviado e recebido.

O segundo modo de comunicação chamando API, é feito através de “Frames”, estes são pacotes de dados hexadecimais que possuem uma estrutura estabelecida pela aliança *Zigbee*, como um delimitador de início, tamanho do pacote, endereço, dados, checksum, entre outros, este modo permite um melhor controle na transmissão dos dados e por isso foi o foco para o desenvolvimento do controlador.

2.2. Rede Wireless *ZigBee*

A utilização de redes wireless, além de comodidade, proporciona segurança ao usuário. Através do acesso a uma determinada aplicação por meios não cabeados, o usuário poderá controlar processos em áreas consideradas de difícil acesso ou com alto grau de periculosidade, como plataformas de petróleo e usinas nucleares.

A Tabela 1 mostra uma comparação entre as diversas tecnologias de redes sem fio, e as topologias de rede *ZigBee* possíveis são mostradas na Figura 1.

Tabela 1- Comparativo entre tecnologia wireless

Padrão	Bluetooth	UWB	ZigBee	Wifi
Especificação IEEE	802.15.1	802.15.3	802.15.4	802.11a/b/g
Banda de frequência	2,4 GHz	3.1-10,6 GHz	868/915 MHz; 2,4 GHz	2,4 - 5GHz
Taxa de transmissão	1 Mb/s	110 Mb/s - 480 Mb/s	250 kb/s	54 Mb/s
Alcance	10m	10m	10 - 100m	100m
Potência Nominal	0 - 10 dBm	-41,3 dBm/MHz	(-25) - 0 dBm	15 - 20 dBm
Mecanismo contra frequência	Frequency Hopping Adaptativo	Frequency Hopping Adaptativo	Seleção Dinâmica de Frequência	Seleção Dinâmica de Frequência
Célula Basica	Piconet	Piconet	Star	BBS
Extensão da célula	Scatternet	peer-to-peer	Cluster Tree - Mesh	ESS
Número de Nós	8	8	> 65000	2007
Encriptação	EQ stream cipher	AES	AES	WEP, AES

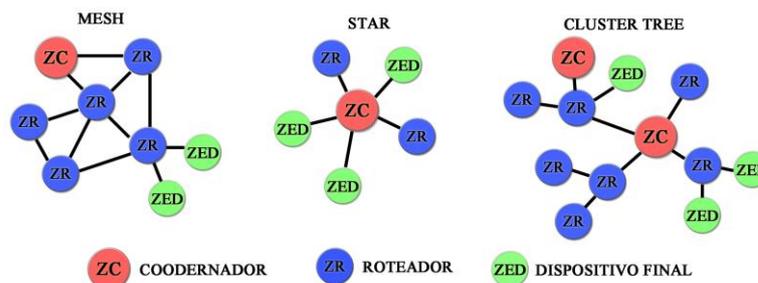


Figura 1 – Topologias de rede possíveis com o ZigBee.

Quanto a topologia, em consequência de sua capacidade de roteamento a tecnologia *ZigBee* tem vantagem por exemplo sobre a tecnologia *Bluetooth*. Entre as opções, a topologia estrela (*star*) é a mais simples. Todos os nós periféricos estão ligados ao coordenador e o caminho das mensagens é único.

A topologia em árvore (*cluster tree*) tem habilidade de roteamento, mas os roteadores só podem estar ligados ao coordenador, sendo proibidos *links* com outros roteadores, a expansão é melhor que na topologia estrela, mas se um *link* se quebra a transferência de dados é cessada. Este problema é resolvido na utilização da topologia em malha (*mesh*).

3. CONFIGURAÇÃO DE MÓDULOS DE COMUNICAÇÃO ZIGBEE

Ao utilizar-se um módulo Xbee pela primeira vez é necessária a realização de uma configuração por meio de um computador, através do software disponibilizado gratuitamente pela Digi, chamado X-CTU. A comunicação entre o dispositivo e o PC é feita através de um cabo e uma placa de conversão USB-R232.

Através do programa X-CTU é possível à realização dos testes de comunicação, bem como a configuração dos parâmetros para comunicação dos dois modos de operação (API e AT). A Figura 2 (a) mostra a tela inicial do programa X-CTU e a Figura 2 (b) representa um teste de comunicação válido.

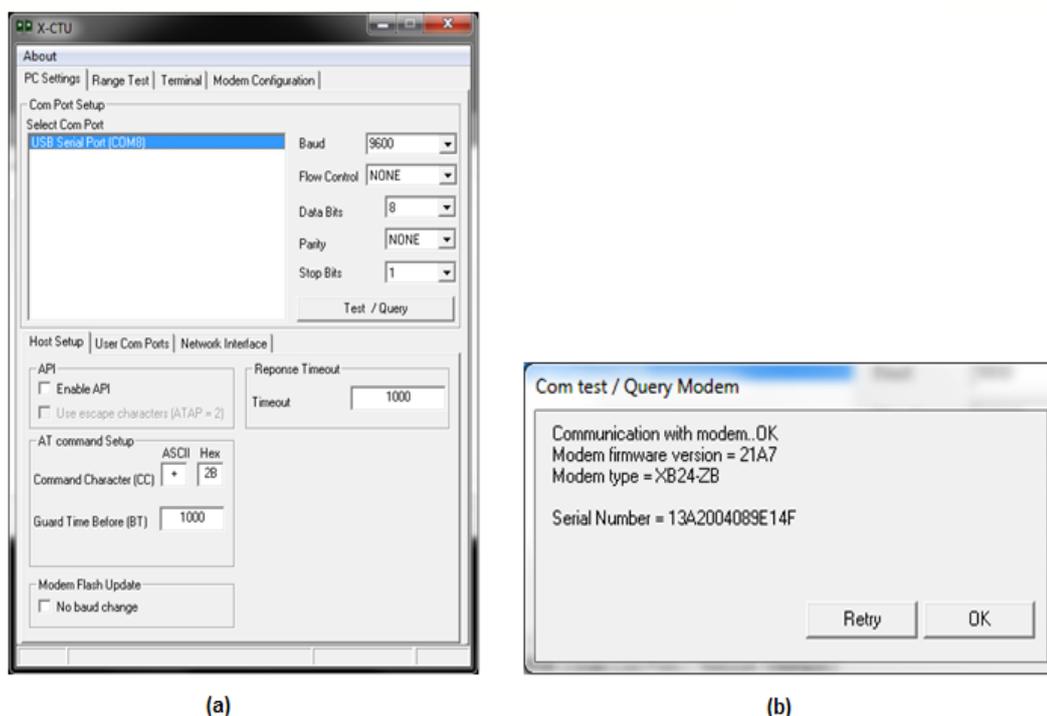


Figura 2 – (a) Tela inicial X-CTU (b) Janela Test/Query Modem

Os modos de operação escolhidos para o controlador foram o *ZigBee* Coordenador, necessário para a distribuição e gerenciamento da rede PAN e *ZigBee* roteador, pois tem



a capacidade de expandir a rede *ZigBee* quando novos dispositivos são inseridos na mesma.

Para configuração dos módulos ZB é necessário que o firmware do dispositivo esteja atualizado. Além da atualização é necessária a modificação de alguns parâmetros para que os módulos se comuniquem e se comportem de acordo com suas funcionalidades (coordenador e roteador).

A Figura 3 mostra a configuração do módulo roteador

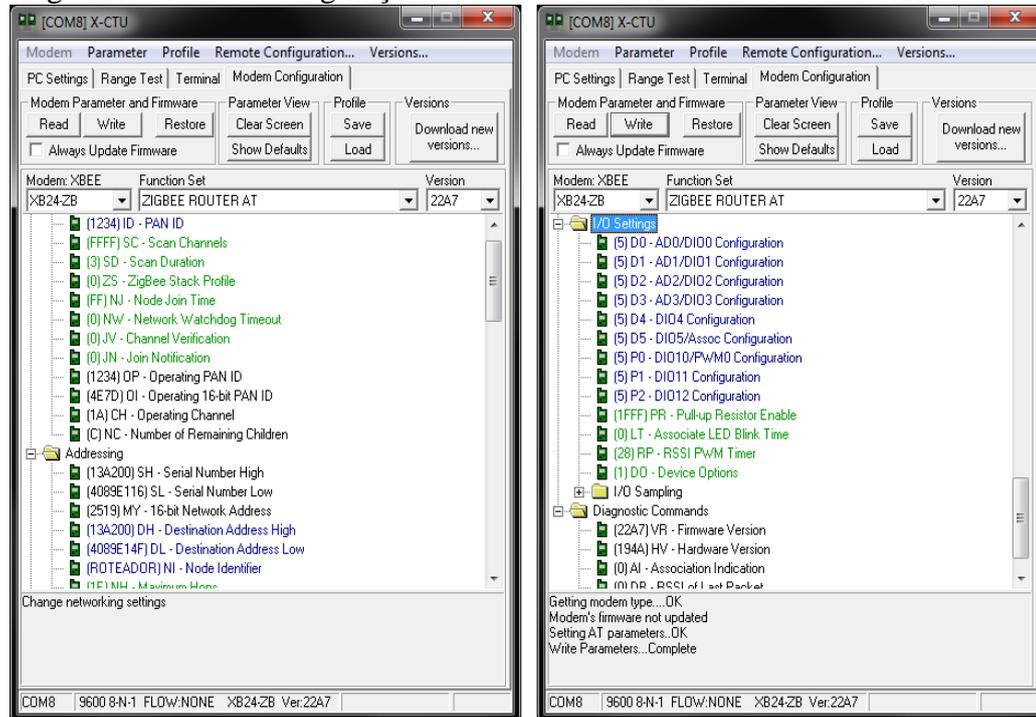


Figura 3 – Configuração do módulo roteador no X-CTU

As configurações que foram alteradas estão destacadas na Figura 5, pela cor azul, este recurso está presente no próprio X-CTU, para distinguir as configurações padrões das alteradas pelo usuário.

Os comandos alterados para realização de uma rede ponto-a-ponto são:

- **PAN ID = 1234** – É necessária para se criar uma rede privada, somente *ZigBee*'s com a mesma PAN ID conseguiram se enxergar na rede.
- **SH e SL** - Estes endereços representam o endereço do módulo roteador conectado ao computador, são utilizados para preenchimento dos endereços DH e DL respectivamente no módulo coordenador estabelecendo assim uma rede ponto-a-ponto, ou seja, o roteador só se comunicaria com o coordenador e vice-versa, nenhum outro módulo será enxergado na rede.
- **DH = (SH do módulo coordenador)** – Para a comunicação ponto-a-ponto é necessário preencher com o endereço SH do módulo coordenador. Caso a conexão seja para múltiplos dispositivos na rede, utilizar o valor zero.
- **DL = (SL do módulo coordenador)** – Para a comunicação ponto-a-ponto é necessário preencher com o endereço SL do módulo coordenador. Caso a conexão seja para múltiplos dispositivos na rede, utilizar o valor zero.



- **NI = ROTEADOR**- Este é o nome no qual o *ZigBee* será reconhecido na rede, no qual esta livre sua escolha, para um melhor entendimento o nome roteador foi escolhido.
- **D0 a D7, P0 a P2 – Alterar para a opção 5** – Necessário para configurar os pinos do *ZigBee* como saída digital, com ativação em nível alto. Outros números configuram-nas como entrada, adc, pwm, desabilitado, etc.

Os procedimentos de configuração para o módulo coordenador são descritos abaixo e têm como tela de configuração a Figura 4.

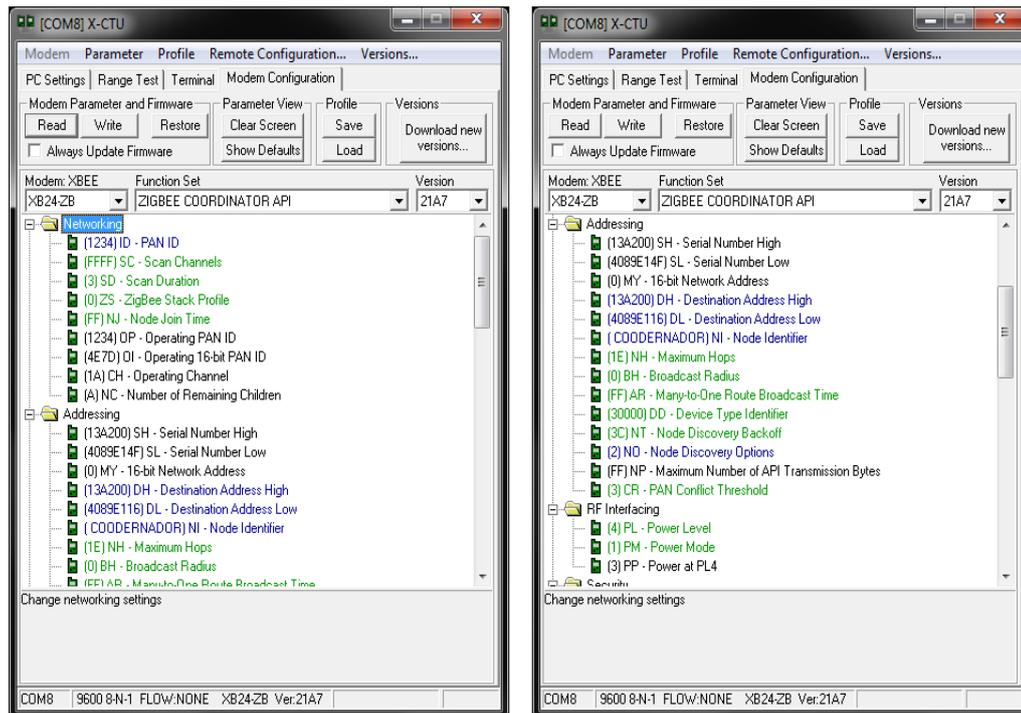


Figura 4 – Configuração do módulo coordenador no X-CTU

- **PAN ID = 1234** – É necessária para se criar uma rede privada, somente *ZigBee* 's com a mesma PAN ID conseguiram se enxergar na rede.
- **DH = (SH do módulo roteador)** – Para a comunicação ponto a ponto é necessário aqui preencher com o endereço SH do módulo roteador. Caso a conexão seja para múltiplos dispositivos na rede, utilizar o valor em zero.
- **DL = (SL do módulo roteador)** – Para a comunicação ponto a ponto é necessário aqui preencher com o endereço SL do módulo roteador. Caso a conexão seja para múltiplos dispositivos na rede, utilizar o valor em zero.
- **NI = COODERNADOR** - Este é o nome no qual o *ZigBee* será reconhecido na rede, no qual esta livre sua escolha, para um melhor entendimento o nome coordenador foi escolhido.
- **NO = 2** – Necessário para o reconhecimento da rede pelo coordenador.

3.1. Configuração do Modo de Operação do Equipamento

O modo API é uma alternativa ao modo de operação transparente AT, neste modo os dados transmitidos e recebidos estão contidos em frames, que definem operações ou eventos dentro do módulo. Através desse modo de operação é possível um determinado



módulo enviar o endereço fonte, endereço destino, nome de um determinado nó, configurações, estado, e muito mais. A Figura 5 demonstra a estrutura de um frame API.

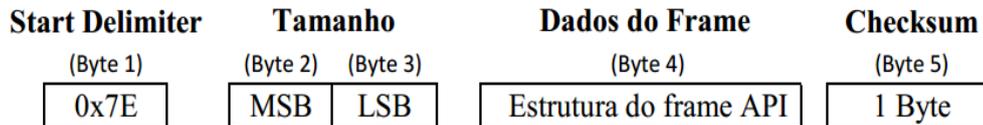


Figura 5 – Estrutura de um frame API.

A Tabela 2 exemplifica um frame do comando API contendo comandos AT com as subdivisões de acordo com o a posição do byte. O comando exemplificado, ATND, é responsável por identificar todos os nós pertencentes à rede. Recebe como resposta dos módulos o endereço (SH e SL), nome (NI), endereço na rede (MY) entre os outros.

TABELA 2 - Exemplo de frame API contendo comando AT

Campos do Frame		Número do Byte	Byte do Frame	Descrição
Start Delimiter		0	0x7E	Indica o início de um pacote
Tamanho do pacote		MSB 1	0x00	Número de bytes seguintes sem o checksum (neste exemplo 4 bytes)
		LSB 2	0x04	
Nome do Frame	Tipo do Frame	3	0x08	Comando AT
	Frame ID	4	0x01	Identifica o frame
	Comando AT	5	0x4E (N)	Comando AT, dois caracteres ASCII identificam o comando (ND).
		6	0x44 (D)	
	Parametros (Opcional)			Se o comando necessitar de algum parametro, deverá ser inserido nesta posição
Checksum		7	0x64	Subtração de 0xFF com a soma dos bytes 3 ao 6

Para o cálculo do checksum deve-se somar todos os bytes após o byte que informa o tamanho do pacote e subtrair de 0xFF(255 decimal), no exemplo acima tem-se:

$$0xFF - (0x08 + 0x01 + 0x4E + 0x44) \Rightarrow 0xFF - 0x9B = 0x64.$$

Obs. – Caso a soma ultrapasse o valor 0xFF(255 decimal), retira-se o restante que ultrapassar este valor, resultando em um numero de 8 bits. Ex: 0x247, resultando em 0x47.

4. Software de Controle Digital

O software de comunicação foi desenvolvido na linguagem Pascal usando a IDE RAD Lazarus, disponibilizada gratuitamente e de fácil utilização.

A Figura 6 demonstra a tela principal do programa desenvolvido, que permite identificar a rede *ZigBee* a que o coordenador pertence e controlar qualquer módulo pertencente a mesma. Com a possibilidade de acionar as saídas, ler o status destas e gravar seu estado lógico em memória, assim quando o dispositivo for reiniciado o status lógico dos pinos retornará ao estado lógico anteriormente setado. O software conta ainda com a opção de selecionar o idioma inglês para que instituições de outros países possam contribuir na complementação do programa.

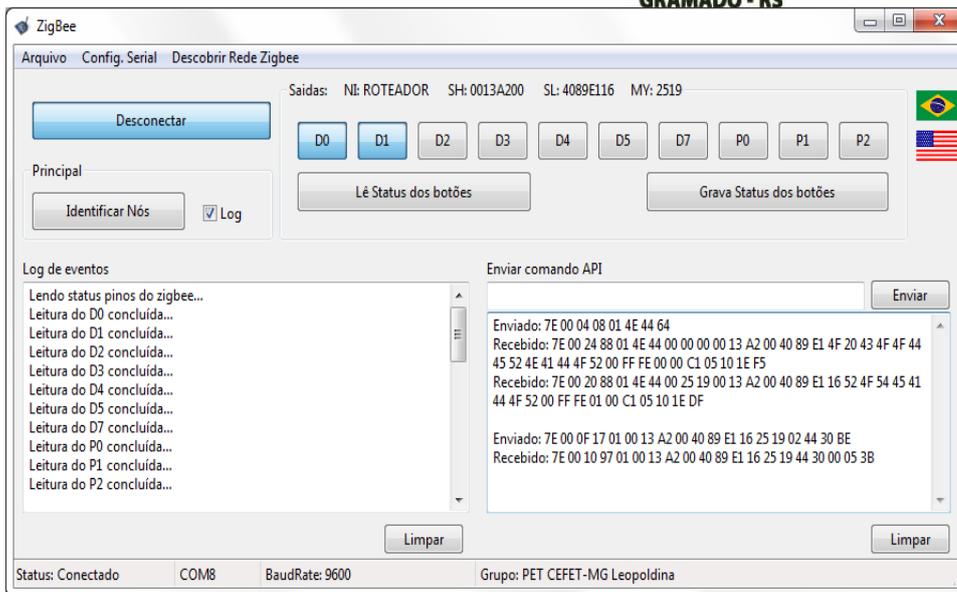


Figura 6 – Software de Controle Digital.

A comunicação com a porta serial virtual é possível através da aba “Config. Serial” e esta ilustrada na Figura 7:

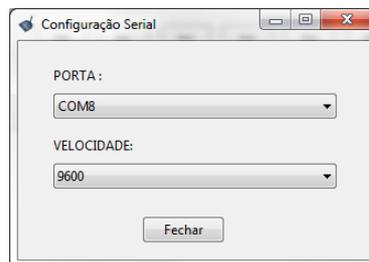


Figura 7 – Configuração porta serial virtual.

O reconhecimento dos nós pertencentes à rede, ou seja, os módulos que estão conectados à rede *ZigBee* podem ser visualizados, este processo esta representado pela Figura 8, este menu pode ser acessado através do botão “Identificar Nós” localizado na tela inicial:

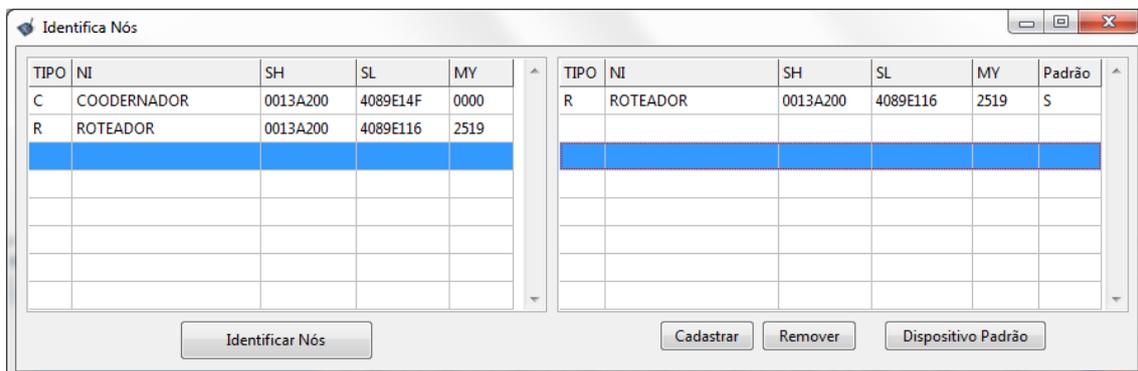


Figura 8 – Identificação dos nós pertencentes a rede.

Os módulos identificados na rede, como esperado, foram dois módulos (coordenador e roteador), por se tratar de uma rede ponto-a-ponto.

Para uma maior segurança, o software exige o cadastro dos módulos que se deseja controlar, pois somente será possível a comunicação com estes módulos cadastrados, para uma rede com vários dispositivos, este artifício é de extrema importância para se evitar que sejam enviados comandos a módulos indesejados. Ao marcar um módulo como “padrão”, ao ser reiniciado, o software já reterá a informação de padrão do módulo previamente marcado.

Na tela inicial da Figura 9, é possível observar os botões “D0, D2, D3, D4, D5, D7” e “P0, P1 e P2”, que se referem às saídas físicas presentes no ZigBee, estes botões permitem ligar e desligar a saída corresponde ao pino de mesmo nome presente no módulo Xbee. O software permite ao usuário verificar o estado atual dos botões citados, através da opção “Ler Status dos pinos” é realizada a leitura do status atual de cada pino e o atualiza na janela ativa. A ação de leitura é feita automaticamente pelo programa assim que a comunicação com o módulo é iniciada, pois caso haja alguma perda de comunicação ou queda de energia, é assegurado ao usuário que a primeira leitura será realizada evitando problemas com divergência de status alto ou baixo (zero ou um).

Outra opção interessante disponível no módulo Xbee e no software é a opção “Gravar status dos pinos” que permite que uma saída seja gravada em nível logico 0 ou 1, nesta opção a retenção da informação também é mantida caso haja um desligamento repentino da alimentação.

Esta disponível o recurso ao usuário de enviar seu próprio frame API, com o calculo do checksum que é obrigatório, feito automaticamente, assim além das funções atuais, poderá acessar qualquer recurso disponível no módulo XBee, como configurações, etc. Contém também o log de registro das atividades do software como dos frames enviados e recebidos.

4.1 – Teste do software em uma aplicação prática.

O módulo Xbee modelo XB24-Z7WIT-004 (Figura 9-a) utilizado para desenvolvimento do controlador em rede *ZigBee* é fabricado pela Digi, empresa membro da *ZigBee Alliance*, entidade formada por desenvolvedores da tecnologia *ZigBee*. Ainda para realização deste trabalho um adaptador USB (Figura 9-b) foi utilizado para conexão do módulo coordenador a um computador.

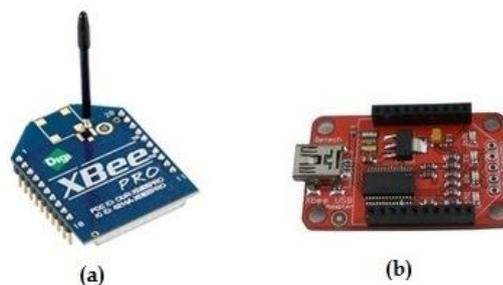


Figura 1 – (a) Módulo ZigBee (b) Adaptador Usb

O software foi testado utilizando um circuito contendo o módulo Xbee roteador, ligado a um circuito com interface de potência. As saídas D0 e D1 do *ZigBee* foram ligadas a um circuito contendo dois relés e isoladores ópticos, permitindo o controle de cargas de até 250V em corrente alternada e 30V em corrente contínua, ambas com corrente de até 10A. Assim, foi possível realizar o controle e sensoriamento em laboratório de LED, lâmpadas, motores, sensores de presença, entre outros. O circuito utilizado com controle de um LED pode ser visualizado na Figura 12.

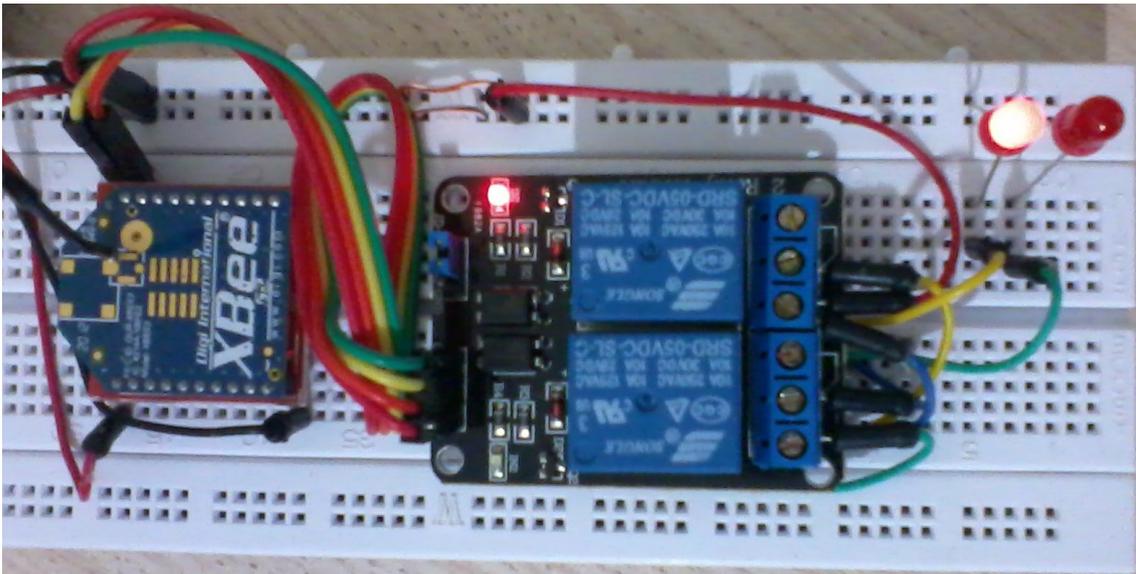


Figura 12 – Saídas do módulo Xbee conectado aos relés.

Realizados os testes, os módulos utilizados alcançaram uma distância média de 100m em campo aberto e 20m com obstáculos (paredes de concreto). Os testes foram repetidos utilizando a alimentação feita por uma bateria de 3V (CR2032) e as mesmas distâncias foram obtidas.

Para projetos em que se necessite de uma distância de comunicação maior pode-se usar o módulo Xbee-Pro que tem alcance de até 1,6km.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das informações introdutórias apresentadas neste artigo e com o auxílio do software didático de controle digital desenvolvido, espera-se que as aplicações utilizando a tecnologia *ZigBee* se tornem mais acessíveis, por ser tratar de uma tecnologia de fácil utilização, baixo consumo de energia e considerável alcance de comunicação, a torna uma excelente ferramenta para o curso de engenharia.

Com o conteúdo apresentado promove-se a redução do tempo de programação e gravação de estados em qualquer projeto desenvolvido pelos estudantes. Por ser um software de código aberto os autores esperam ainda o incremento de funcionalidades de acordo com as diversas aplicações projetadas.

O código fonte do software desenvolvido pode ser baixado em "<http://www.leopoldina.cefetmg.br/pet/index.php/downloads>".



Agradecimentos

Os autores agradecem ao MEC/SESu/PET, FNDE, FAPEMIG e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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.

RAMALHO, L.A.; NASCIMENTO, V.E.; OLIVEIRA, R.; FERREIRA, E.T.; SHINODA, A.A. Metodologia de experimentos ZigBee para formação profissional. Anais XXXIX – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia: Blumenau: FURB, 2011.

SILVA, C.C.; OLIVEIRA, R.; NASCIMENTO, V.E.; SHINODA, A.A.; FERREIRA, E.T. Desenvolvimento de uma ferramenta didática para gerenciamento de rede de sensores sem fio ZigBee. Anais XXXIX – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia: Blumenau: FURB, 2011.

ZigBee Alliance – ZigBee Technology Disponível em: <<http://www.zigbee.org/About/AboutTechnology/ZigBeeTechnology.aspx>> Acesso em: 09 maio. 2013.

DEVELOPMENT OF OPEN SOURCE SOFTWARE FOR DIGITAL REMOTE CONTROL USING ZIGBEE TECHNOLOGY

Abstract: *This paper presents the development of open source educational software for communication, wireless sensing and control using ZigBee technology. As this is a new technology, there aren't a lot of informations and softwares availables for this application, therefore, besides the implementation of a didactic software which is easy to use and open source, it was needed an introduction of the whole process to master the basics of ZigBee technology and applications with this technology.*

Key-words: *ZigBee, Wireless network, Open source software, Digital control.*