



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

DIEGO ROBERTO SANTOS DE OLIVEIRA

**INTEGRAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO COM
INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL NO MONITORAMENTO DE UM
AMBIENTE ÍNDOOR**

Campina Grande, Paraíba
Outubro de 2016

DIEGO ROBERTO SANTOS DE OLIVEIRA

INTEGRAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO COM
INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL NO MONITORAMENTO DE UM AMBIENTE
INDOOR

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como
parte dos requisitos necessários para a obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Instrumentação Eletrônica

Orientador:

Professor Jaidilson Jó da Silva, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Outubro de 2016

DIEGO ROBERTO SANTOS DE OLIVEIRA

INTEGRAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO COM
INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL NO MONITORAMENTO DE UM
AMBIENTE INDOOR

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Instrumentação Eletrônica

Aprovado em ____ / ____ / _____

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Jaidilson Jó da Silva, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais, Roberto e Socorro, à minha irmã, Daniele, ao meu tio, Adilson, e à minha avó, Dona Zefinha.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, tenho que agradecer a Jesus Cristo, por minha vida, por me alegrar e me dar forças para chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais Roberto José e Maria do Socorro, por todo o amor, dedicação e por todos os sacrifícios que fizeram para que nada me faltasse ao longo dessa jornada.

A todos os meus familiares, em especial minha irmã, Daniele, que sempre me apoiou. A minha avó, Dona Zefinha, e meu tio, Adilson, por sempre me acolherem de forma amorosa nos momentos de necessidade.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica, por todo conhecimento repassado, em especial ao professor Jaidilson, por ter aceitado me orientar durante este trabalho.

Aos amigos, Andrei Patriota, Danilo Araújo, Isaldes Stefano, Jean Michel, José Simão e Rodrigo. Sou feliz por tê-los como amigos durante todos estes anos e espero poder estar sempre por perto para presenciar o sucesso de cada um de vocês.

A todos, meu muito obrigado.

RESUMO

Inicialmente, foi feito um estudo sobre redes de sensores sem fio e sobre as tecnologias disponíveis para a implementação das mesmas. Posteriormente, foi escolhido um ambiente fechado no qual a rede de sensores sem fio seria implementada. Dois tipos de sensores foram escolhidos para realizar as medições dos parâmetros a serem monitorados. Foi necessário realizar a calibração do sensor de luminosidade. Se fez necessário o uso de circuitos de condicionamento de sinal para obter uma melhor confiabilidade nas leituras efetuadas. Desenvolveu-se um instrumento virtual utilizando o *software* LabVIEW, que era responsável por

Palavras-chave: Redes de Sensores Sem Fio, ZigBee, Instrumentação Virtual, LabVIEW, Sensor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Instrumento tradicional com painel frontal.....	13
Figura 2.2 - Painel frontal de um instrumento virtual	16
Figura 2.3 - Instrumento virtual criado com o LabVIEW.....	17
Figura 2.4 - Ilustração de como as WSNs podem interagir com outras redes.....	19
Figura 2.5 - Tipos de rede sem fio de comunicação de dados.....	20
Figura 2.6 - Arquitetura do hardware de um nó sensor	20
Figura 2.7 - Pilha de protocolos das redes de sensores sem fio.....	24
Figura 2.8 - Estrutura geral de um quadro IEE 802.15.4	28
Figura 2.9 - Pilha de protocolos ZigBee.....	29
Figura 2.10 - Topologias de rede ZigBee	31
Figura 3.1 - Fotografia do adaptador serial utilizado nos experimentos	33
Figura 3.2 - Fotografia dos módulos Xbee e Xbee-Pro.....	34
Figura 3.3 - Fotografia de um LM35	36
Figura 3.4 - Fotografia de um LDR.....	36
Figura 3.5 - Curvas características obtidas para os LDRs utilizados.....	38
Figura 3.6 - Circuito implementado nos nós da rede de sensores	39
Figura 4.1 - Diagrama esquemático da rede de sensores implementada.....	40
Figura 4.2 - Visão da aba ‘Dados Recebidos’, do painel frontal do VI desenvolvido	41
Figura 4.3 - Visão da aba ‘Gráficos’, do painel frontal do VI desenvolvido	42
Figura 4.4 - Diagrama de blocos do VI desenvolvido	43
Figura 4.5 - Bloco VISA Configure Serial.....	43
Figura 4.6 - Bloco VISA Read	43
Figura 4.7 - Bloco Index Array, responsável pela separação dos bytes do frame recebido	44
Figura 4.8 - Bloco Formula Node.....	44
Figura 4.9 - Comportamento da temperatura durante o período monitorado.....	45
Figura 4.10 - Comportamento da luminosidade durante o período monitorado.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Alocação de canais e bandas nos diferentes locais.....	27
Tabela 2.2 - Alocação de canais e bandas nos diferentes locais.....	27
Tabela 2.3 - Potências mínimas de recebimento e alcance máximo	27
Tabela 3.1 - Especificações do módulo Xbee.....	34

SUMÁRIO

1	Introdução	11
1.1	Objetivos	12
1.2	Estrutura do Trabalho	12
2	Revisão Bibliográfica	13
2.1	Instrumentação Virtual	13
2.1.1	Estrutura de um instrumento virtual.....	14
2.1.1.1	Módulo Sensor	14
2.1.1.2	Módulo de Processamento.....	15
2.1.1.3	Interface gráfica de Usuário	15
2.1.2	Ambientes de Desenvolvimento.....	16
2.1.2.1	LabVIEW	16
2.2	Redes de Sensores Sem Fio.....	17
2.2.1	Componentes das WSNs	20
2.2.1.1	Nó sensor.....	20
2.2.1.2	Gateway.....	21
2.2.1.3	Sensor/Atuador.....	21
2.2.2	Características das WSNs.....	21
2.2.3	Camadas das WSNs.....	23
2.2.4	Aplicações das Redes de Sensores Sem fio.....	25
2.3	O Padrão ZigBee	26
2.3.1	O IEEE 802.15.4	26
2.3.1.1	Camada Física (PHY) IEEE 802.15.4.....	26
2.3.1.2	Camada de Enlace (MAC) IEE 802.15.4	28
2.3.2	Arquitetura da Pilha ZigBee.....	29
2.3.2.1	A Camada de Rede (NWK).....	30
2.3.2.2	A Camada de Aplicação (APL).....	30
2.3.3	Topologias ZigBee	31

3	Descrição do Aparato Experimental	32
3.1	Escolha da Tecnologia ZigBee.....	32
3.2	Visão Geral.....	32
3.3	Material Utilizado.....	33
3.3.1	Módulos Xbee	33
3.3.2	Sensores Utilizados	35
3.3.2.1	O sensor de Temperatura LM 35.....	35
3.3.2.2	Fotoresistores.....	36
3.4	Calibração dos Fotoresistores.....	37
3.5	Circuito Utilizado	39
4	Resultados e Discussão	40
4.1	Rede de Sensores Implementada.....	40
4.2	Instrumento Virtual Desenvolvido	41
4.3	Comportamento dos Parâmetros Monitorados	44
5	Considerações Finais	46

1 INTRODUÇÃO

Em um futuro próximo, a inteligência ambiental ou Aml (do inglês, *Ambient Intelligence*) estará na maioria das casas, de diferentes maneiras. As redes de sensores sem fio são comumente reconhecidas como um dos pilares tecnológicos da Aml. Redes de sensores sem fio são grupos irregulares de nós que se comunicam entre si, coletam e processam informação do ambiente, por meio de sensores, e trocam essas informações com nós próximos ou com estações de recepção. Redes de sensores são ágeis, de baixo custo, baixa potência e são capazes de coletar grandes quantidades de dados do ambiente com a finalidade de atuarem e controlarem diferentes tipos de instalações (Karl et al., 2007).

Instrumentos Virtuais são programas de computador que interagem com o mundo real, por meio de sensores e atuadores, e implementam funções de instrumentos reais ou imaginários. Desta forma é possível criar instrumentos com funções personalizadas, o que difere da instrumentação convencional, onde o usuário está limitado às funções do equipamento. As interfaces dos programas são, em geral, semelhantes ao painel dos instrumentos reais. Isto torna a instrumentação virtual mais confiável, dado que o usuário pode manusear os experimentos de maneira similar ao que é feito com instrumentos reais.

Neste trabalho será implementada uma rede de sensores sem fio, utilizando o protocolo ZigBee, para simular o monitoramento de um ambiente indoor. Cada nó da rede terá sensores de temperatura e luminosidade. Após os nós serem energizados, começarão a coletar amostras dos sensores e irão enviar dados por meio de um link sem fio. Estes dados serão recebidos em um computador e serão processados em tempo real por meio de um instrumento virtual que será desenvolvido utilizando o LabVIEW. Tal instrumento virtual permitirá que o usuário monitore o ambiente em questão em tempo real tanto presencialmente como remotamente, por meio da internet.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é realizar a integração entre redes de sensores sem fio e instrumentação virtual por meio do monitoramento de um ambiente indoor, além da realização de estudos sobre redes de sensores sem fio, protocolo ZigBee e instrumentação virtual.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 2, foi apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre Instrumentação Virtual, Redes de Sensores sem Fio e sobre o protocolo ZigBee, que visa destacar alguns pontos importantes ao entendimento do trabalho. Depois, no Capítulo 3, foram descritos os componentes e procedimentos realizados no trabalho desenvolvido, o que inclui a escolha da tecnologia utilizada, os sensores e módulos utilizados, a calibração de sensores e os circuitos implementados. No Capítulo 4, foram apresentados os resultados obtidos. O trabalho é finalizado, no Capítulo 5, com as considerações finais sobre o projeto.

2 REVISÃO BILIOGRÁFICA

Neste capítulo estão descritas, resumidamente, algumas informações básicas sobre instrumentação virtual, redes de sensores sem fio e padrão ZigBee, que são úteis ao entendimento do projeto.

2.1 INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL

Os avanços na eletrônica analógica forneceram grandes melhorias em funcionalidade e confiabilidade para a instrumentação. Ao mesmo tempo, o grande avanço da eletrônica digital levou ao desenvolvimento de barramentos de dados que conectam computadores a instrumentos eletrônicos de maneira rápida e eficiente.

A rápida evolução dos computadores fez com que essas máquinas se tornassem ferramentas comuns para engenheiros e técnicos. A versatilidade proporcionada provocou um grande impacto na instrumentação tradicional. Um computador, munido de software avançado e interfaces gráficas de usuários (*GUI*) permite ao usuário emular, ou até ultrapassar, as funcionalidades de instrumentos tradicionais.

Tradicionalmente, instrumentos eletrônicos são facilmente identificáveis: objetos encapsulados com um painel frontal. O painel frontal fornece uma interface de usuário que permite que o operador interaja e controle o instrumento. Tipicamente, um painel frontal contém botões e possivelmente um display, como o instrumento apresentado na Figura 2.1.

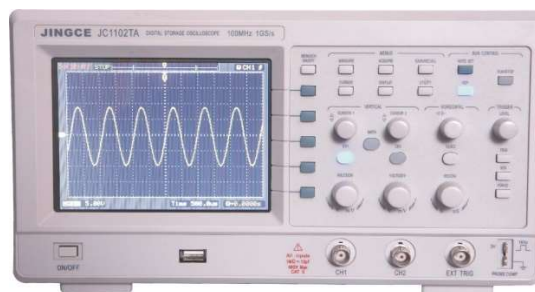


Figura 2.1 - Instrumento tradicional com painel frontal.
Fonte: www.emanualz.wordpress.com (2015)

Instrumentos virtuais são dispositivos configurados por *software*, a partir de componentes de *hardware* independentes, que executam funções de instrumentos personalizados (Kwock, 2004). Por serem definidos por software, instrumentos virtuais podem ser reconfigurados para realizarem diferentes funções de instrumentação e medição, sempre que se faz necessário. Desta forma, instrumentos virtuais diferem dos instrumentos eletrônicos tradicionais, os quais são fabricados para realizarem um conjunto específico de tarefas.

2.1.1 ESTRUTURA DE UM INSTRUMENTO VIRTUAL

Um instrumento virtual é, geralmente, composto dos seguintes blocos (Obrenović et al., 2006):

- Módulo sensor,
- Módulo de processamento,
- Interface de usuário.

2.1.1.1 MÓDULO SENSOR

O módulo sensor realiza o condicionamento do sinal e o digitaliza para manipulação posterior. Uma vez que os dados são digitalizados e armazenados em um computador, eles podem ser apresentados em um display, processados, comparados ou convertidos novamente para um sinal digital, para possível controle de processos. O módulo sensor promove a interação do instrumento virtual com o mundo real, transformando sinais analógicos medidos em dados legíveis por um computador. O módulo sensor é composto de três partes principais:

- sensor,
- circuito de condicionamento de sinal, e
- conversor A/D.

O sensor é responsável por detectar sinais físicos do ambiente. Caso a grandeza a ser medida não seja elétrica, o sensor deve incluir um transdutor para converter a informação para um sinal elétrico. O circuito de condicionamento de sinal prepara o sinal analógico para a conversão A/D. Normalmente, esse circuito realiza a amplificação e filtragem do sinal. O

conversor A/D transforma o sinal analógico em um sinal digital, que poderá ser manipulado pelo módulo de processamento.

2.1.1.2 MÓDULO DE PROCESSAMENTO

A funcionalidade de um instrumento virtual pouco depende de hardware dedicado. As tarefas que podem ser realizadas pelo instrumento virtual são definidas, principalmente, via software. Desta forma, o módulo de processamento é responsável pelo processamento dos dados recebidos pelo módulo sensor e também pela definição das ações a serem executadas pelo instrumento virtual com estes dados.

2.1.1.3 INTERFACE GRÁFICA DE USUÁRIO

A interface gráfica de usuário é a parte do instrumento com a qual o operador interage. Interfaces gráficas de usuário possibilitam uma interação homem-computador mais intuitiva, tornando a instrumentação virtual mais acessível (Santori, 1991). Em instrumentos virtuais, a interface gráfica de usuário é também conhecida como painel frontal.

O painel frontal, de um instrumento virtual, é uma interface gráfica que simula o painel frontal de um instrumento real. O painel frontal proporciona ao usuário um ambiente definido por *software* de interação com o instrumento. Este pode simular botões e displays, permitindo que usuários familiarizados com instrumentos tradicionais não encontrem dificuldades na utilização de um instrumento virtual. A Figura 2.2 apresenta o painel frontal de um instrumento virtual.

Assim como na maioria dos instrumentos tradicionais, em instrumentos virtuais o painel frontal é o único mecanismo no qual o usuário comum pode interagir. Sua implementação é omitida do usuário.

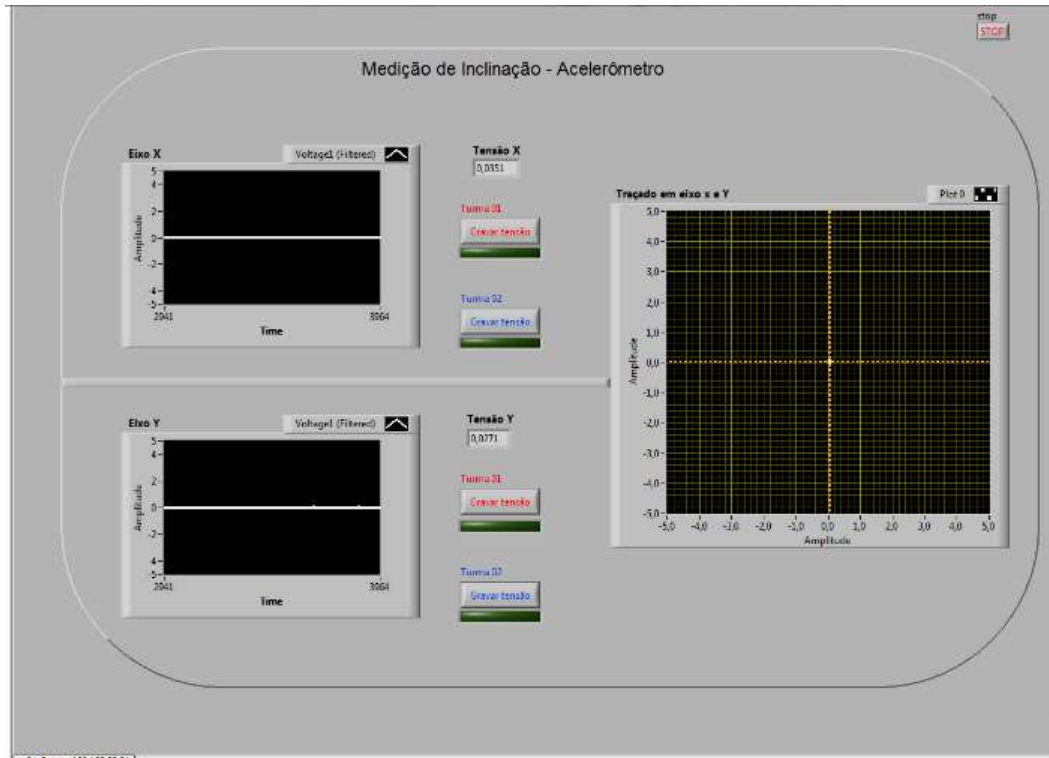


Figura 2.2 - Painel frontal de um instrumento virtual
 Fonte: O próprio autor

2.1.2 AMBIENTES DE DESENVOLVIMENTO

2.1.2.1 LABVIEW

O *LabVIEW* (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), da *National Instruments*, é uma linguagem gráfica de programação que usa ícones ao invés de linhas de texto para criar aplicações. Diferente das linguagens de programação baseadas em texto, onde instruções determinam a execução do programa, o *LabVIEW* usa programação em fluxo de dados, onde o fluxo dos dados determina a execução (NATIONAL INSTRUMENTS, 2000).

O *LabVIEW* conta com diversas bibliotecas, com as mais variadas funções, para a execução de qualquer tarefa de programação. São incluídos conjuntos de VIs que permitem a comunicação de dados com dispositivos *DAQ* (*Data Aquisition*). Os dispositivos *DAQ* executam a aquisição de dados de plataformas experimentais bem como realizam a geração de

sinais para as mesmas. Também são incluídas bibliotecas específicas para o controle de instrumentos e análise de dados.

O *LabVIEW* tornou o desenvolvimento de instrumentos virtuais mais acessível para usuários de laboratório e físicos (Ertugrul, 2002). É a ferramenta de desenvolvimento de instrumentos virtuais mais popular e tem sido bastante utilizada em várias áreas de conhecimento. Na Figura 2.3 é apresentado um instrumento virtual criado com o LabVIEW.

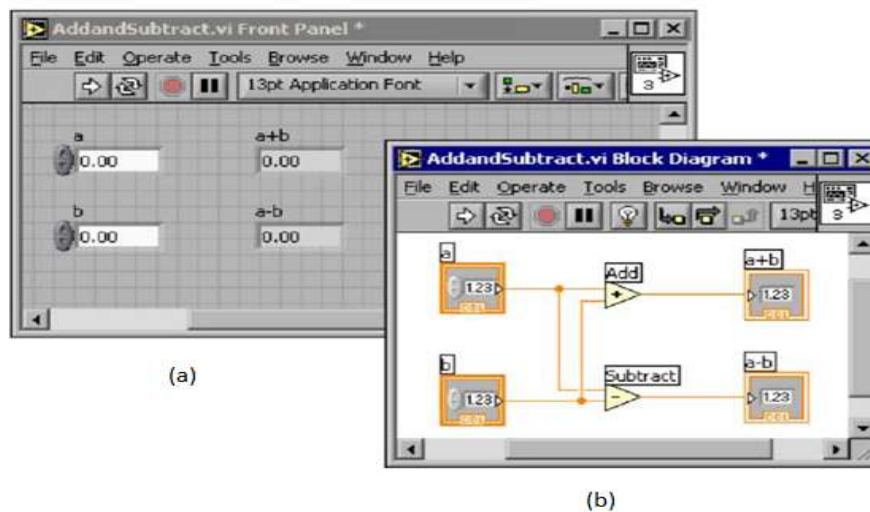


Figura 2.3 - Instrumento virtual criado com o LabVIEW. São apresentados em (a) o painel frontal e (b) o diagrama de blocos.

Fonte: Neto, 2007

2.2 REDES DE SENSORES SEM FIO

Os avanços que têm ocorrido na área de microprocessadores, novos materiais de sensoriamento, microssistemas eletromecânicos (*MEMS – Micro Electro-Mechanical Systems*) e comunicação sem fio tem estimulado o desenvolvimento e uso de sensores inteligentes em áreas ligadas a processos físicos, químicos, biológicos, dentre outros. É útil ter em um único *chip* vários sensores, que são controlados pela lógica do circuito integrado, com uma interface de comunicação sem fio. Normalmente, o termo sensor inteligente é aplicado ao chip que contém um ou mais sensores com capacidade de processamento de sinais e comunicação de dados. A tendência é que no futuro estes sensores sejam produzidos em larga escala,

barateando o seu custo, e que mais investimentos sejam feitos no desenvolvimento tecnológico desses dispositivos, levando as novas melhorias e capacidades.

Redes de sensores sem fio (do inglês, *Wireless Sensor Networks – WSN*) são um conjunto de nós capazes de comunicar a informação obtida da área monitorada (e.g. temperatura, umidade, vibração) através de um enlace sem fio. Essa informação é transmitida para um nó concentrador (também chamado de controlador, monitor ou em inglês *sink*) que pode localmente se utilizar das informações coletadas ou estar conectado a uma outra rede, em geral Internet ou Satélite, para oferecer acesso às informações coletadas para diversos usuários (Silva, 2011).

Estas diferem das redes de computadores tradicionais em vários aspectos. Normalmente essas redes possuem um grande número de nós distribuídos, possuem restrições de energia e devem possuir mecanismos para a autoconfiguração e adaptação devido a problemas como falhas de comunicação e perda de nós. Uma WSN tende a ser autônoma e requer um alto grau de cooperação para executar as tarefas definidas para a rede.

Nestas redes, cada nó é equipado com uma variedade de sensores, como sensores de temperatura, pressão, humidade e luminosidade. Tais nós podem ser organizados em grupos (*clusters*) onde pelo menos um dos sensores deve ser capaz de detectar um evento na região, processá-lo e tomar uma decisão: se deve fazer ou não uma difusão (*broadcast*) do resultado para outros nós. A previsão é de que as WSNs se tornem disponíveis em todos os lugares executando as tarefas mais diferentes possíveis. A Figura 2.4 ilustra a interação entre WSNs e outras redes.

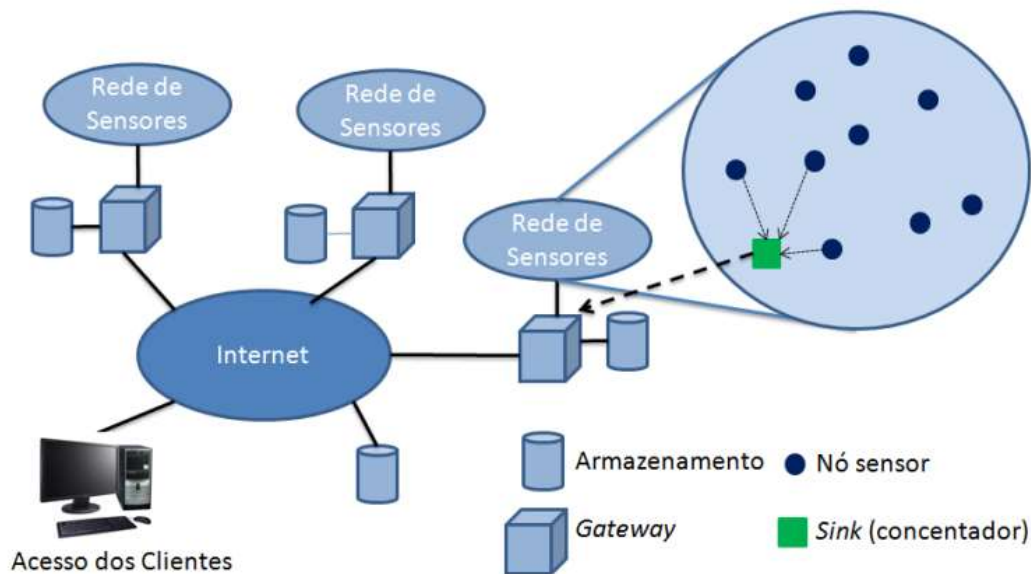


Figura 2.4 - Ilustração de como as WSNs podem interagir com outras redes.
 Fonte: Silva, 2011

As WSNs podem ser vistas como um tipo especial de rede móvel *ad hoc* (do inglês, *Mobile Ad hoc Network – MANET*). Numa rede tradicional, a comunicação entre os elementos computacionais é feita através de estações rádio base, que constituem uma infraestrutura de comunicação, como ilustrado na Figura 2.5a. Esse é o caso da internet. Por outro lado, numa rede móvel *ad hoc* os elementos computacionais trocam dados diretamente entre si, como ilustrado na Figura 2.5b. Do ponto de vista de organização, WSNs e MANETs são idênticas, já que possuem elementos computacionais que se comunicam diretamente através de enlaces de comunicação sem fio. No entanto, as MANETs têm como função básica prover um suporte à comunicação entre esses elementos computacionais, que individualmente, podem estar executando tarefas distintas. Por outro lado, as WSNs tendem a executar uma função colaborativa onde os elementos (sensores) proveem dados, que são processados por nós especiais chamados de sorvedouros (*sink nodes*).

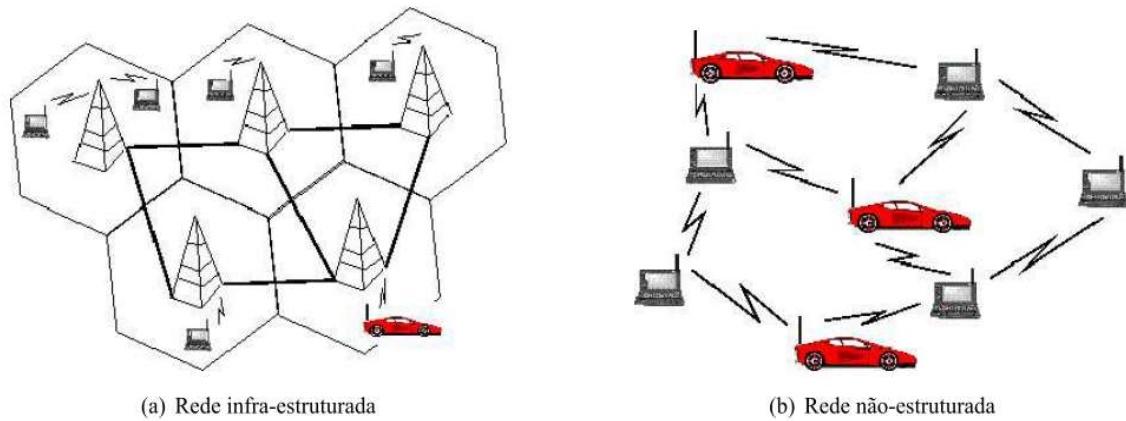


Figura 2.5 - Tipos de rede sem fio de comunicação de dados
Fonte: Monsignore, 2007

2.2.1 COMPONENTES DAS WSNS

Uma WSN é composta por um conjunto de nós sensores, gateway, sensores e atuadores. Abaixo estes elementos são descritos em detalhes.

2.2.1.1 NÓ SENSOR

Um nó sensor é um elemento computacional autônomo com capacidade de processamento, memória, interface de comunicação sem fio, além de um ou mais dispositivos sensores, como apresentado na Figura 2.6.

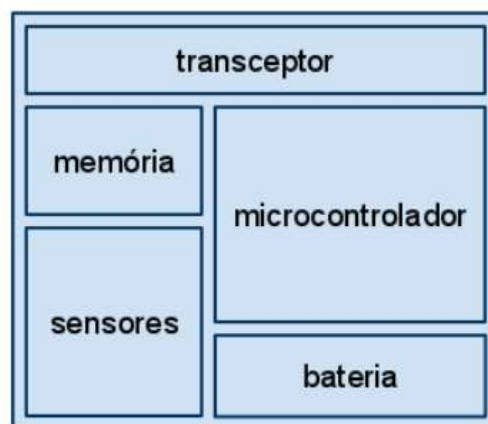


Figura 2.6 - Arquitetura do hardware de um nó sensor
Fonte: O próprio autor

2.2.1.2 GATEWAY

Um *gateway* é uma interface entre a plataforma de aplicação e os nós da WSN. Toda informação recebida por meio dos nós é manipulada pelo gateway e encaminhada para a aplicação. A aplicação pode ser executada em um computador local ou por um computador em rede. No sentido reverso, quando um comando é enviado a partir da aplicação para os nós da WSN, o gateway encaminha a informação para a rede de sensores.

2.2.1.3 SENSOR/ATUADOR

Dispositivos utilizados para a interação com o sistema físico que se deseja monitorar e/ou controlar. Um exemplo é o de um sensor monitorando a temperatura em um quarto e controlando o equipamento de condicionamento de ar.

2.2.2 CARACTERÍSTICAS DAS WSNs

As WSNs possuem problemas semelhantes às redes ad hoc, como por exemplo, acesso ao meio, criação e gerenciamento de rotas, mobilidade e segurança. Redes ad hoc são redes de propósito geral, nas quais não existe um nó central para onde todas as informações devem convergir (como um ponto de acesso) e a topologia é dinâmica. Embora diversos protocolos tenham sido propostos para as redes sem fio ad hoc, estes algoritmos não se adequam perfeitamente às necessidades e restrições das redes de sensores sem fio (Silva, 2011).

Conforme encontrado em Akyildiz (2002, p. 104), segue uma lista das principais diferenças entre WSNs e redes ad hoc:

- O número de nós em uma WSN pode ser muito maior do que a quantidade de nós em uma rede *ad hoc* e dispostos de forma mais densa (maior quantidade de nós por unidade de área);
- Os nós da WSN são mais propensos a falhas, já que estão mais sujeitos a falta de alimentação e fatores ambientais;
- Os nós de uma WSN são limitados em relação ao consumo de energia, capacidade de processamento computacional e memória, enquanto que os nós das redes *ad hoc* normalmente são mais robustos.

As principais características das redes de sensores sem fio são: escalabilidade (em relação ao número de nós na rede), auto-organização (o que inclui a capacidade de se recuperar de perdas de nós), eficiência energética, conectividade suficiente entre os nós, baixa complexidade, baixo custo e pequeno tamanho dos nós.

Por se tratar de uma variação de redes *ad hoc*, algumas características são compartilhadas entre as WSNs e as MANETs, tais como (Seidel et al., 2010):

- Topologia Dinâmica – Os sensores de uma WSN podem se deslocar de forma dinâmica e imprevisível, continuamente ou em movimentos esparsos, alterando constantemente a topologia da rede e estabelecendo enlaces de comunicação simétricos e assimétricos. A mudança da topologia decorrente da mobilidade de algum sensor deve ser identificada, em algum momento, pelos demais sensores da rede;
- Largura de Banda Limitada – Quando comparada com as redes cabeadas, as redes sem fio apresentam uma largura de banda limitada. Além disso, a avariedade da capacidade dos enlaces de comunicação, os efeitos provenientes do compartilhamento de acesso ao meio de transmissão e as interferências afetam, de forma significativa, a taxa máxima de transmissão dos rádios-transmissores;
- Capacidade Limitada de Energia – Alguns sensores de uma WSN podem ter sido dispostos em locais de difícil acesso ou inóspitos e, desta forma, a única fonte de energia pode advir de baterias. Como a substituição destas baterias muitas vezes

é impossível ou inviável, o consumo de energia torna-se um dos principais quesitos a ser contabilizado pelos protocolos;

- Segurança – O fato de muitos sensores de redes sem fio estarem localizados em áreas externas ou do sinal da rede alcançar áreas externas torna as redes sem fio mais vulneráveis que as redes cabeadas;
- Rede descentralizada – O fato de não haver um ponto central nas redes *ad hoc* implica a possibilidade de múltiplos caminhos entre um remetente e um destinatário, aumentando a robustez da rede em caso de falhas dos sensores.

O fato das WSNs permitirem a comunicação entre sensores através de múltiplos saltos pode ser considerada uma das características mais importantes, principalmente quando consideramos o quesito área de cobertura. O fato de um par de sensores (sensor fonte e sensor sorvedouro) não estarem um ao alcance do outro, não implica, obrigatoriamente, que os mesmos não poderão se comunicar, pois a existência de sensores intermediários poderá viabilizar a comunicação. Neste tipo de comunicação, os sensores intermediários atuam como roteadores, recebendo e encaminhando dados (*store and forward*).

2.2.3 CAMADAS DAS WSNs

A pilha de protocolos de um nó sensor é apresentada na Figura 2.7. Nela, além das camadas, podem ser observados os planos de gerenciamento. Estes planos são interesses transversais, presentes em todas as camadas. Os planos de gerenciamento buscam ajudar a coordenação dos serviços dos nós e a diminuição do consumo de energia (Silva, 2011). A seguir são descritas brevemente algumas das camadas da pilha de protocolos das WSNs.



Figura 2.7 - Pilha de protocolos das redes de sensores sem fio
 Fonte: Monsignore, 2007

A camada física possui a responsabilidade de realizar a seleção da frequência de transmissão, a detecção de sinal, a geração de portadora de frequência e a modulação dos dados. Para a frequência, a faixa reservada para aplicações industriais, científicas e médicas (ISM – *Industrial, Scientific and Medical*) tem sido amplamente sugerida. A faixa ISM é composta por outras três faixas: 900 MHz, 2.4 GHz e 5.8 GHz. A faixa de 900 MHz não é utilizada na Europa, por ser utilizada em outra aplicação nessa região. A faixa de 2.4 GHz é a mais utilizada, sendo compartilhada por diversas aplicações como *WiFi*, *Bluetooth* e *ZigBee* (IEE 802.15.4).

A camada de enlace é responsável principalmente pela detecção de quadros de dados, acesso ao meio e correção de erros. Ela permite a realização de comunicações ponto-a-ponto e ponto-a-multipontos, na rede de sensores. Outra função importante desta camada é o controle de erro. Existem duas abordagens principais: FEC (*Forward Error Correction*) e ARQ (*Automatic Repeat Request*). A desvantagem da ARQ é o custo com a retransmissão das informações, já que a capacidade de correção de erro deve ser realizada no próprio nó destino.

O controle de acesso ao meio (MAC) possui dois objetivos. O primeiro é a criação de uma infraestrutura de rede, ou seja, estabelecer links de comunicação para transferências de dados entre os nós. O segundo objetivo é a divisão dos recursos de forma justa e eficiente entre os nós. Os modelos de MAC utilizados por outras redes sem fio são inadequados para as redes de sensores sem fio. Por exemplo, nas redes de celulares e MANETs, o objetivo

principal está relacionado com a qualidade do serviço e não existe uma restrição rígida em relação à economia de energia. MACs baseados em demanda podem ser inadequados às WSNs, devido ao overhead de mensagens e atrasos no enlace.

Nas redes multi-salto a camada de rede é responsável pela localização da(s) rota(s) entre o nó emissor e o receptor. As rotas devem levar em consideração a potência disponível nos nós ou a energia necessária para a transmissão nos enlaces ao longo da rota. Uma rota entre nós A e B pode ser escolhida por diversas abordagens, por exemplo: máximo de potência disponível nos nós, menor energia de transmissão, menor número de saltos, entre outras.

Já a camada de transporte é necessária para que a WSN possa ser acessada por outras redes externas. Por fim, a camada de aplicação está diretamente relacionada à execução dos serviços da WSN, no que diz respeito ao gerenciamento das tarefas de sensoriamento.

2.2.4 APLICAÇÕES DAS REDES DE SENSORES SEM FIO

Tradicionalmente, redes de sensores eram utilizadas no contexto de aplicações de alto nível, como em sistemas de detecção de radiação e de ameaças nucleares, aplicações biomédicas e monitoramento de atividades sísmicas. Recentemente, o interesse em sensores químicos e biológicos que podem ser ligados em rede, tem crescido em aplicações de segurança nacional.

Aplicações existentes e em potencial de redes de sensores incluem, entre outras, segurança física, monitoramento de tráfego, automação industrial, controle de processos, gerenciamento de inventário, monitoramento de ambientes, monitoramento de clima, robótica distribuída, monitoramento de fronteiras e monitoramento de construções e estruturas (Sohraby et al., 2007).

Redes de sensores sem fio tendem a executar tarefas colaborativas. Geralmente os objetivos de uma WSN dependem da aplicação, mas determinadas atividades são comumente encontradas nesse tipo de rede, como: determinar o valor de algum parâmetro em um dado local, detectar a ocorrência de eventos de interesse e estimar valores de parâmetros em função do evento detectado, classificar um objeto detectado e rastrear um objeto.

2.3 O PADRÃO ZIGBEE

ZigBee é um padrão que define um conjunto de protocolos de comunicação de baixa taxa de transmissão e curto alcance para redes sem fio. A tecnologia de rádio ZigBee é projetada para reduzir custos e consumo de energia, assim como o *Bluetooth*, e sua especificação é baseada no padrão IEEE 802.15.4. O ZigBee permite comunicações robustas e opera na faixa de frequências ISM, sendo na Europa de 868 MHz (1 canal), 915 MHz (10 canais) nos EUA e 2.4 GHz (16 canais) em outras partes do mundo, e não requerem licença para funcionamento (Nenoki, 2013).

As redes ZigBee oferecem imunidade contra interferências e a capacidade de hospedar uma grande quantidade de dispositivos numa rede, com taxas de transmissão de dados variando entre 20 kbps a 250 kbps. Estas taxas de dados são mais lentas que o Bluetooth, porém o consumo de energia em redes ZigBee é menor. Um dos principais objetivos do Zigbee é oferecer operação de rádio por longos períodos de tempo, sem a necessidade de recarga, visando aplicações tais como redes de sensores.

2.3.1 O IEEE 802.15.4

O IEEE 802.15.4 é uma tecnologia de comunicação sem fio de curto alcance, que tem o propósito de servir a aplicações que não possuem requisitos de alta taxa de transmissão e baixa latência. As principais funcionalidades desta tecnologia são: baixa complexidade, baixo custo e baixo consumo de energia. Devido a estas características, a maior aplicação desta tecnologia são as WSNs (Buratti, 2011). A seguir são discutidas a camada física (PHY) e a camada de enlace (MAC) propostas pelo IEE 802.15.4.

2.3.1.1 CAMADA FÍSICA (PHY) IEEE 802.15.4

A camada física opera em três diferentes faixas de frequência não-licenciadas de acordo com a localização geográfica. O padrão especifica 27 canais half-duplex para as três bandas, conforme pode ser visualizado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Alocação de canais e bandas nos diferentes locais

Banda	Frequência (MHz)	Local Disponível	Largura de Banda	Quantidade de Canais
2,4 GHz (ISM)	2400 – 2482,5	Todo o mundo	250 Kbps	16
915 MHz (ISM)	902 – 928	EUA	40 Kbps	10
868 MHz	868 – 868,6	Europa	20 Kbps	1

A modulação, método de propagação e a distância entre os canais variam de acordo com a banda utilizada. A Tabela 2.2 resume estas informações para cada uma das bandas.

Tabela 2.2 - Alocação de canais e bandas nos diferentes locais

Banda	Distância entre canais	Modulação	Método de Propagação
2,4 GHz (ISM)	5 MHz	O-QPSK	16-array orthogonal
915 MHz (ISM)	2 MHz	BPSK	DSSS Binário
868 MHz	-	BPSK	DSSS Binário

Na Tabela 2.3 é possível observar a mínima potência necessária para a recepção e o alcance máximo de cada uma das bandas.

Tabela 2.3 - Potências mínimas de recebimento e alcance máximo

Banda	Sensibilidade de Recepção	Alcance máximo
2,4 GHz (ISM)	-85 dBm	200 m
915 MHz (ISM)	-92 dBm	1 Km
868 MHz	-92 dBm	1 Km

De acordo com o padrão IEE 802.15.4, a transmissão é organizada em quadros (*frames*) que diferem entre si de acordo com o propósito. A estrutura geral de um quadro é apresentada na Figura 2.8. Existem quatro tipos de quadros que compõem o PPDU (*Physical Protocol Data Unit*): quadro de *beacon*, quadro de dados, quadro de ACK (*Acknowledgment*) e quadro de comando MAC. Todos os quadros são estruturados com um *Synchronization Header* (SHR), um *Physical Header* (PHR), uma *Physical Service Data Unit* (PSDU), sendo esta última composta por uma *MAC Payload Data Unit* (MPDU) que, por sua vez, é construída com um *MAC Header* (MHR), um *MAC Footer* (MFR) e um *MAC Service Data Unit* (MSDU). Ainda para assegurar que uma mensagem foi recebida corretamente é utilizado

CRC (*Cyclic Redundancy Check*). O campo MSDU é preenchido de acordo com o tipo de quadro, exceto no quadro de ACK, onde este campo é ausente (Silva, 2011).

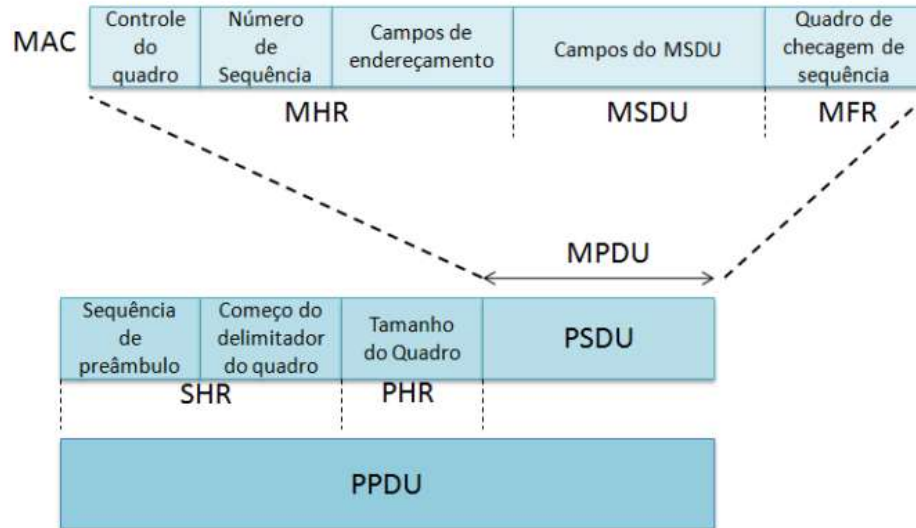


Figura 2.8 - Estrutura geral de um quadro IEE 802.15.4
Fonte: Silva, 2011

2.3.1.2 CAMADA DE ENLACE (MAC) IEE 802.15.4

As funções executadas pela camada de enlace da tecnologia IEEE 802.15.4 são: associação e desassociação, controle de segurança, funções para redes na topologia estrela (gerenciamento de time slot para transmissão, geração de ACKs) e suporte à aplicação para as duas topologias suportadas.

A camada MAC usa um protocolo baseado no algoritmo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), o qual requer que se escute o canal antes de transmitir para que a probabilidade de colisões durante a transmissão seja diminuída (Buratti, 2011). Existem dois modos de operação, que correspondem a dois mecanismos diferentes de acesso ao meio: um modo chamado *beacon-enabled* e outro *non beacon-enabled*. No modo *non beacon enabled* o nó procura um canal para realizar a transmissão, enquanto que no modo *beacon-enabled*, existe uma estrutura chamada *superframe* que provê uma espécie de sincronização para transmissão evitando colisões, ou seja, para que um nó tenha acesso ao canal, ele deve receber um quadro de *beacon*.

2.3.2 ARQUITETURA DA PILHA ZIGBEE

A pilha ZigBee, conforme a Figura 2.9, tem como objetivo implementar as camadas do modelo ISO/OSI para uma rede sem fio de área pessoal de baixo tráfego de dados (LR-WPAN).

Como foi discutido no tópico anterior, a norma IEEE 802.15.4 define as duas camadas inferiores: a camada física (PHY) e a subcamada de controle de acesso de mídia (MAC). A ZigBee Alliance constrói sobre essa base, fornecendo a camada de rede (Network Layer – NWK) e o quadro para a camada de aplicação. O quadro da camada de aplicação consiste na subcamada de apoio de aplicação (*Application Support Sublayer – APS*) e nos objetos dispositivos ZigBee (*ZigBee Device Object – ZDO*) (ZigBee Alliance, 2007).

A arquitetura da pilha ZigBee é constituída de camadas. Cada camada executa um conjunto específico de serviços para a camada acima. Uma entidade de dados fornece um serviço de transmissão de dados e uma entidade de gerenciamento fornece todos os outros serviços. Cada entidade de serviço fornece uma interface para a camada superior por meio de um ponto de acesso de serviço (SAP), e cada SAP suporta um número de primitivas de serviço para alcançar a funcionalidade necessária (ZigBee Alliance, 2007).

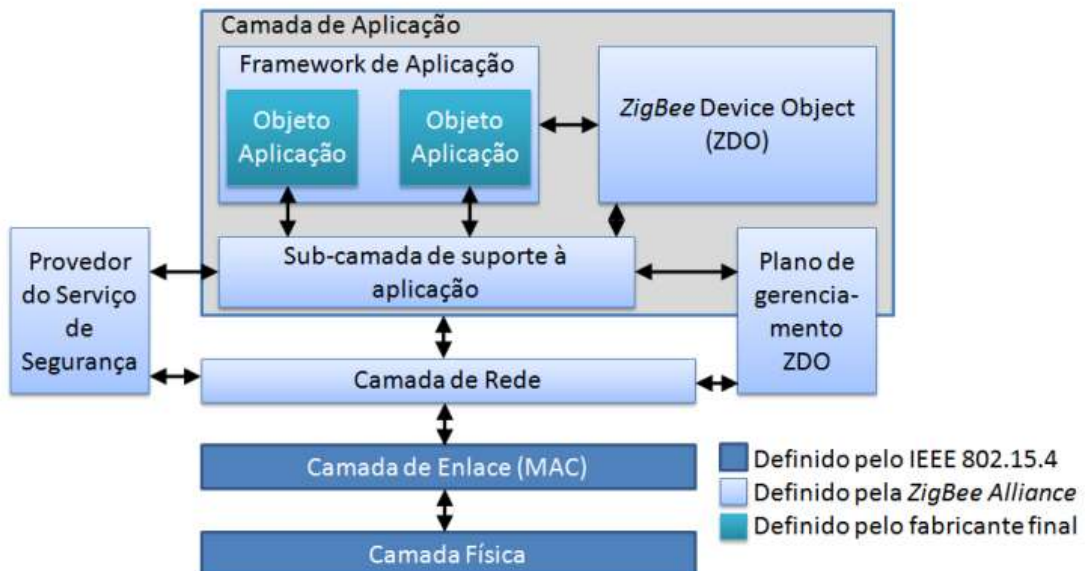


Figura 2.9 - Pilha de protocolos ZigBee
Fonte: Nenoki, 2013

2.3.2.1 A CAMADA DE REDE (NWK)

Segundo Oliveira Filho (2010), a camada de rede (NWK) manipula os endereços de rede e o roteamento dos pacotes chamando as rotinas da camada MAC. As responsabilidades da camada NWK incluem:

- Iniciar uma rede;
- Aderir e abandonar uma rede;
- Configurar um novo dispositivo;
- Endereçamento;
- Sincronização dentro de uma rede;
- Segurança;
- Roteamento.

A camada NWK foi projetada para permitir que a rede tenha um crescimento espacial sem a necessidade de transmissores de alta potência, além de poder manipular grande quantidade de nós com baixa latência. A dição de um roteador entre os nós de interesse aumenta o alcance da comunicação sem a necessidade de grandes antenas e alta potência de transmissão.

2.3.2.2 A CAMADA DE APLICAÇÃO (APL)

Segundo Kinney (2003), a camada de aplicação ZigBee consiste da subcamada *Application Support* (APS), do ZDO e dos objetos de aplicação definidos pelo fabricante (*Application Framework*). As responsabilidades da subcamada APS incluem manutenção de tabelas para efetuar o *binding*, que é a capacidade de combinar dois dispositivos baseados em seus serviços, nas suas necessidades e no encaminhamento de mensagens entre os dispositivos ligados. Outra responsabilidade da subcamada APS é a *discovery*, que é a capacidade para determinar quais são os outros dispositivos que estão operando no espaço operacional pessoal de um dispositivo. As responsabilidades do ZDO incluem a definição da função do dispositivo dentro da rede, iniciar e/ou responder a pedidos de ligação e estabelecer uma relação segura entre dispositivos de rede selecionando um dos métodos ZigBee de segurança. Os objetos de aplicação definidos pelo fabricante implementam as aplicações reais de acordo com as descrições de aplicativos definidos para o ZigBee.

2.3.3 TOPOLOGIAS ZIGBEE

Existem três diferentes topologias suportadas pelo ZigBee: estrela, árvore e *mesh*. A topologia estrela é a mais simples, mas não é escalável, no que diz respeito à quantidade de nós na rede e área de cobertura. As topologias árvore e *mesh* são mais favoráveis quando existe uma grande área a ser coberta e muitos dispositivos fazem parte da rede.

A especificação ZigBee define uma topologia baseada em árvore, como um caso particular da rede *peer-to-peer* do IEE 802.15.4. A vantagem desta topologia é que o roteamento é uma tarefa mais simples, já que existe apenas uma rota entre um par de nós, por outro lado, a não existência de rotas alternativas torna a topologia não robusta a falhas nos enlaces.

Na topologia *mesh* não existe a relação hierárquica, inerente à árvore. Os dispositivos podem se conectar com qualquer outro dispositivo, seja diretamente ou através de dispositivos roteadores. Nessa topologia, em geral, existe mais de uma rota entre dois nós, sendo tarefa do protocolo de roteamento selecionar a rota menos custosa.

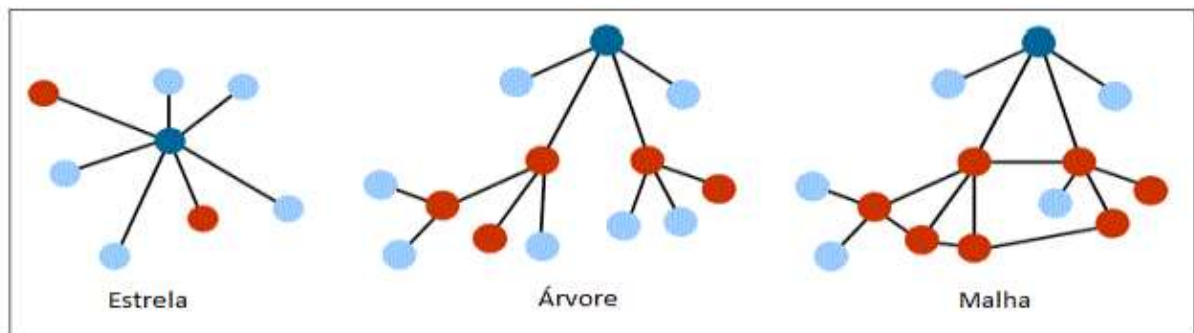


Figura 2.10 - Topologias de rede ZigBee
Fonte: Silva, 2011

3 DESCRIÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma WSN que possa ser integrada com um instrumento virtual. Este capítulo trata de alguns detalhes acerca do projeto dessa rede de sensores sem fio, a qual é composta por projeto de hardware, software e do projeto do instrumento virtual a ser utilizado.

3.1 ESCOLHA DA TECNOLOGIA ZIGBEE

A especificação IEE 802.15.4 é muito eficiente para WSNs. O IEE 802.15.4 possui uma excelente definição das camadas físicas e MAC para redes de sensores sem fio, o que o torna de fato um padrão para WSNs.

A tecnologia ZigBee foi a primeira a propor camadas superiores para o IEE 802.15.4 e assegurar um padrão de interoperabilidade, deixando o usuário livre para escolher entre diversos fabricantes. Desta forma, a escolha da tecnologia ZigBee se deu devido ao fato de se tratar de um padrão bem estabelecido e de uso relativamente simples.

3.2 VISÃO GERAL

A WSN desenvolvida é composta por três elementos: módulo coordenador da rede, módulos sensores e um computador para processar os dados coletados pelos módulos.

Os módulos sensores são os nós da rede que fazem o sensoriamento e enviam os dados coletados do ambiente monitorado para o nó coordenador. Nestes foram implementados circuitos que permitiram a leitura dos sinais dos sensores pelo conversor A/D dos módulos Xbee.

O módulo coordenador não possui capacidade de sensoriamento. Este está ligado ao computador por meio de um adaptador serial para módulos Xbee e tem como função fazer a recepção e gerenciamento dos dados enviados pelos nós da rede. Uma fotografia do adaptador serial utilizado nos experimentos poder visualizada na Figura 3.1.



Figura 3.1 - Fotografia do adaptador serial utilizado nos experimentos
Fonte: O próprio autor

O último elemento é um computador com o LabVIEW instalado. Utilizando o LabVIEW desenvolveu-se um instrumento virtual capaz de interagir com a rede de sensores. Por meio do VI desenvolvido, o usuário tem acesso em tempo real às leituras feitas pelos sensores de cada nó da rede e tem a opção de salvar os dados coletados para posterior análise.

3.3 MATERIAL UTILIZADO

3.3.1 MÓDULOS XBEE

O nome Xbee faz parte de uma família de módulos RF fabricados pela *Digi International*. Os primeiros módulos Xbee foram introduzidos no mercado pela *MaxStream*, em 2005, e eram baseados no protocolo IEE 802.1.4-2003. Dois módulos foram inicialmente comercializados – um módulo de baixa potência (1 mW) com o nome Xbee e outro de maior potência (100 mW) com o nome Xbee-Pro. Na Figura 3.1 é apresentada uma fotografia dos módulos Xbee e Xbee-Pro.



Figura 3.2 - Fotografia dos módulos Xbee e Xbee-Pro
 Fonte: www.embedsoftdev.com (2010)

O módulo utilizado neste trabalho é o Xbee. Este módulo possui pinos de entrada/saída digital e analógica, pinos de PWM e um conversor A/D de 10 bits, que permitem o seu fácil manuseio em diversas aplicações. Na Tabela 3.1 são apresentadas as principais características deste módulo.

Tabela 3.1 - Especificações do módulo Xbee

Alcance Indoor	30 m
Alcance Outdoor	100 m
Potência de Transmissão	1 mW (0 dBm)
Sensibilidade de Recepção	-92 dBm
Tensão de Alimentação	2.8 – 3.4 V
Consumo de Corrente no Modo de Transmissão	45 mA (sendo alimentado por 3.3 V)
Consumo de Corrente no Modo de Recepção	50 mA (sendo alimentado por 3.3 V)

3.3.2 SENSORES UTILIZADOS

O funcionamento da rede de sensores é baseado em elementos capazes de perceber determinadas alterações físicas e atuar sobre o meio nos quais eles estão inseridos. Esses dispositivos, capazes de transformar uma forma de energia em outra, são chamados de Transdutores. Os transdutores podem ser divididos em sensores e atuadores.

Um conceito bastante usado por engenheiros eletricitas define sensor como todo e qualquer dispositivo que possua a capacidade de perceber uma forma de energia e transformá-la em energia elétrica, e atuador como um dispositivo que seja capaz de realizar o processo inverso, ou seja, transformar energia elétrica em outra forma de energia.

Neste trabalho, são utilizados dois tipos de sensores: os sensores de temperatura LM35 e os fotoresistores (LDRs) como sensores de luminosidade.

3.3.2.1 O SENSOR DE TEMPERATURA LM 35

O LM35 é um sensor de temperatura de precisão, cuja tensão de saída é linearmente proporcional à temperatura em graus Celsius. Desta forma, o LM35 apresenta vantagem sobre outros sensores de temperatura calibrados em Kelvin, não necessitando qualquer subtração de variáveis para que se obtenha uma escala de temperatura em graus Celsius (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000).

O LM35 não necessita de qualquer calibração externa ou “trimming” para fornecer valores de temperatura com variações de $\frac{1}{4}$ °C ou até mesmo $\frac{3}{4}$ °C, dentro da faixa de temperatura de -55 °C à 150 °C. Este sensor tem saída com baixa impedância, tensão linear (10 mV/°C) e calibração inerente precisa, fazendo com que o interfaceamento de leitura seja especificamente simples.

O sensor LM35 é apresentado com vários tipos de encapsulamentos, sendo o mais comum o TO-92, que mais se parece com um transistor, e oferece um bom custo benefício. Na Figura 3.2 é apresentada uma fotografia de um LM35 com este tipo de encapsulamento.

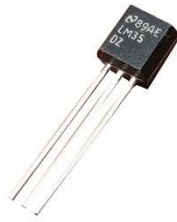


Figura 3.3 - Fotografia de um LM35
Fonte: www.electronilab.co (2016)

3.3.2.2 FOTORESISTORES

Fotoresistores ou LDRs (do inglês, *Light Dependent Resistors*), são um tipo de sensor resistivo cuja resistência diminui de acordo com o nível de luz que incide sobre ele. Sensores de iluminação e detectores de luz são amplamente utilizados no meio industrial, e fotoresistores proporcionam uma alternativa relativamente barata, comparado aos demais transdutores fotoelétricos.

LDRs são feitos de material semicondutor, assim como fotodiodos e fototransistores. Contudo, funcionam com base num efeito de volume, ao invés de um efeito de junção, como no caso dos dois últimos. Ou seja, a luz incidindo sobre o bloco de material semicondutor em si proporciona o efeito de fotocondutividade elétrica. Na Figura 3.3 é apresentada uma fotografia de um LDR.

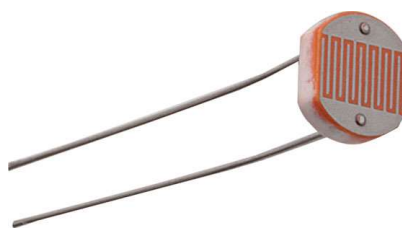


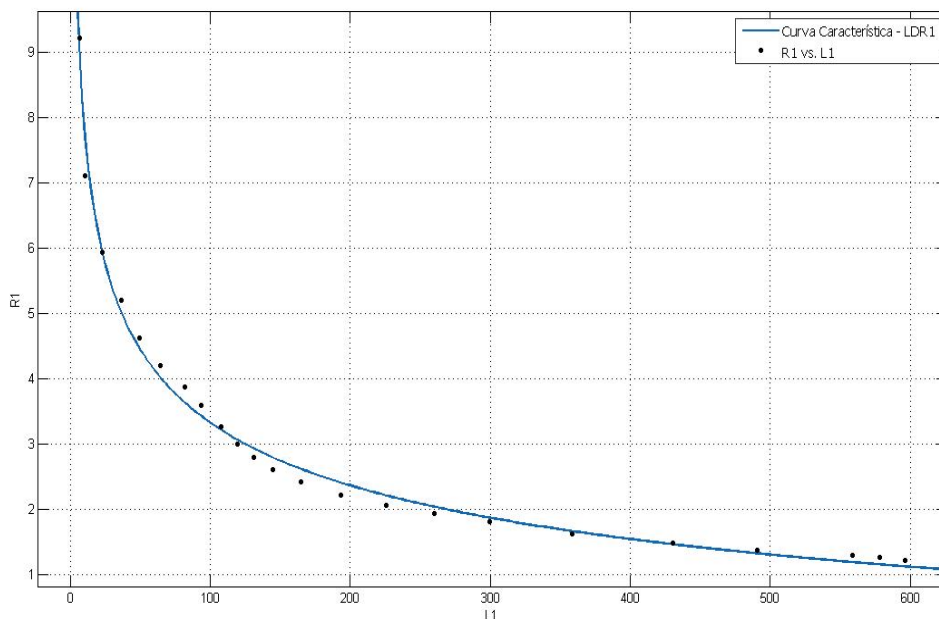
Figura 3.4 - Fotografia de um LDR
Fonte: www.meetarduino.wordpress.com (2012)

3.4 CALIBRAÇÃO DOS FOTORESISTORES

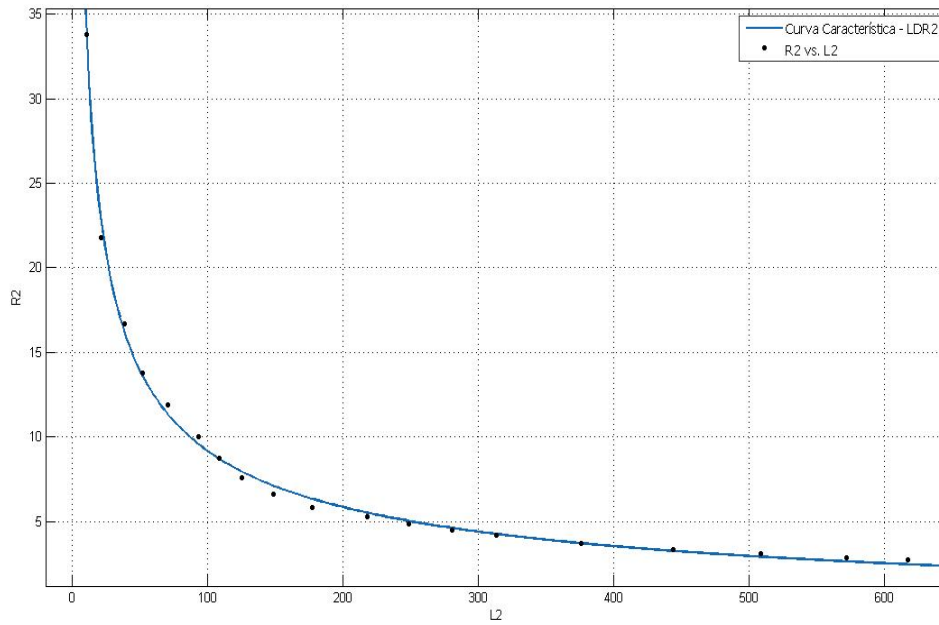
Tendo em vista que os LDRs seriam utilizados com o objetivo de medir o iluminamento do ambiente, se fez necessária a calibração dos mesmos.

O procedimento utilizado na calibração consistiu em dispor os LDRs no interior de um cilindro fechado contendo quatro lâmpadas de 10 watts de potência na tampa. Junto ao LDR a ser calibrado, foi posto um LDR já calibrado, de maneira que ao se variar a luminosidade proporcionada pelas lâmpadas, era possível fazer a leitura da luminosidade em lux, proporcionada pelas mesmas. Para cada diferente valor de luminosidade lido, eram medidos valores de resistência ôhmica do LDR.

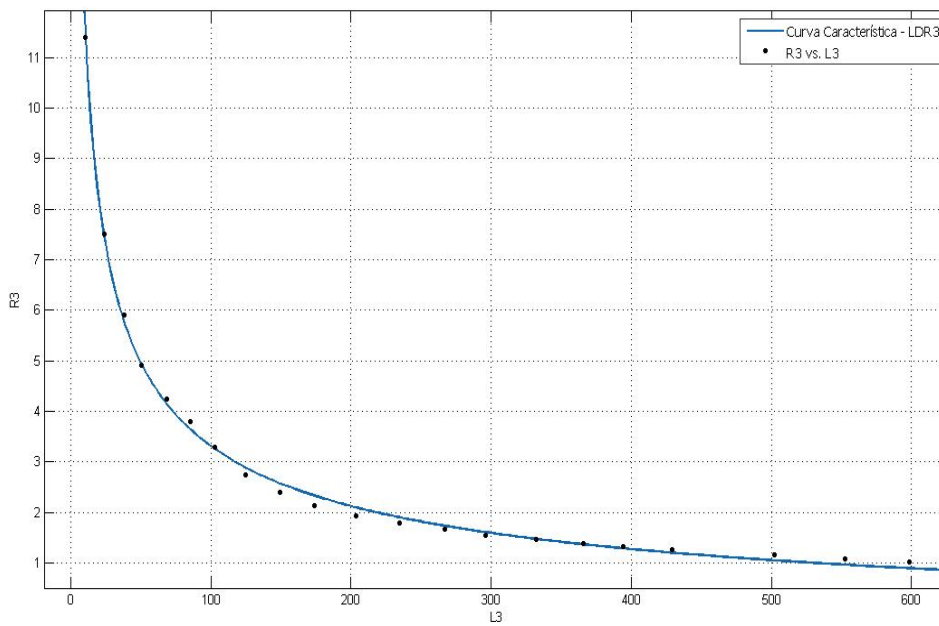
Com os dados coletados foram obtidas as curvas características para 3 LDRs, que posteriormente seriam utilizados nos nós da rede de sensores. A partir destas curvas se fez possível encontrar uma relação matemática entre a luminosidade incidida e a resistência do LDR. As curvas características dos LDRs são apresentadas na Figura 3.5.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.5 - Curvas características obtidas para os LDRs utilizados
Fonte: O próprio autor

3.5 CIRCUITO UTILIZADO

Em cada nó da rede de sensores foi implementado um circuito que possibilitava a leitura dos dados dos sensores pelo módulo Xbee. O diagrama esquemático do circuito utilizado é apresentado na Figura 3.5

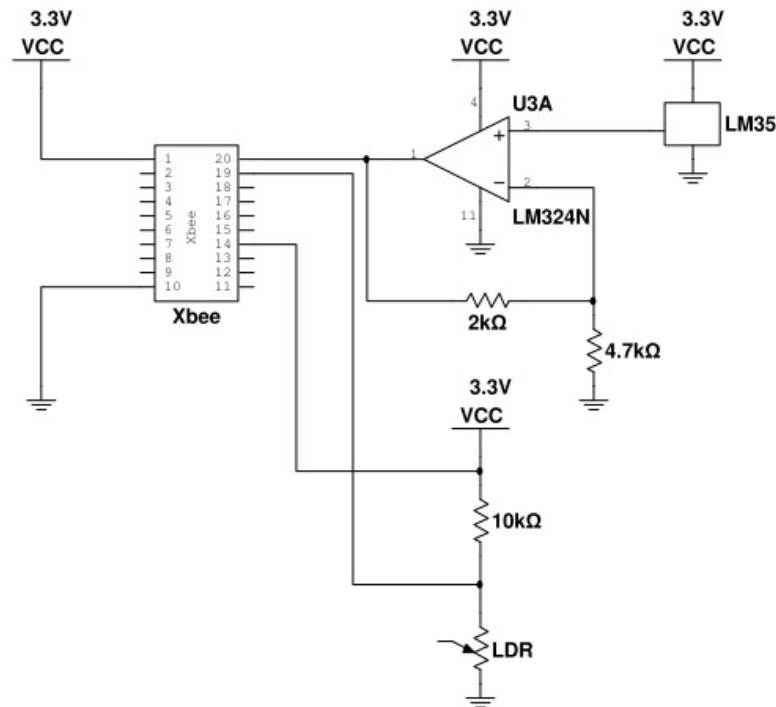


Figura 3.6 – Diagrama do circuito implementado nos nós da rede de sensores

Pelo diagrama do circuito tem-se que foram utilizadas duas entradas analógicas de cada módulo Xbee. Em uma entrada analógica eram feitas as leituras de temperatura do sensor LM35. A fim de minimizar o erro de quantização, foi implementado um estágio de amplificação na tensão de saída do mesmo. Na outra entrada analógica, mediam-se os valores de tensão do LDR. Para a leitura destes valores, foi utilizado um simples divisor de tensão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no projeto, bem como descrição e análise dos mesmos.

4.1 REDE DE SENSORES IMPLEMENTADA

Com auxílio de sensores e módulos Xbee foi implementada uma rede de sensores sem fio no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC) da UFCG. Esta consiste de três nós sensores, onde cada nó é capaz de medir temperatura e luminosidade no ambiente monitorado, e um nó coordenador, conectado a um computador.

Os nós foram distribuídos na sala da maneira mais uniforme possível, no intuito de obter boas leituras dos valores médios dos parâmetros monitorados. Na Figura 4.1 é apresentado um diagrama esquemático da WSN desenvolvida.

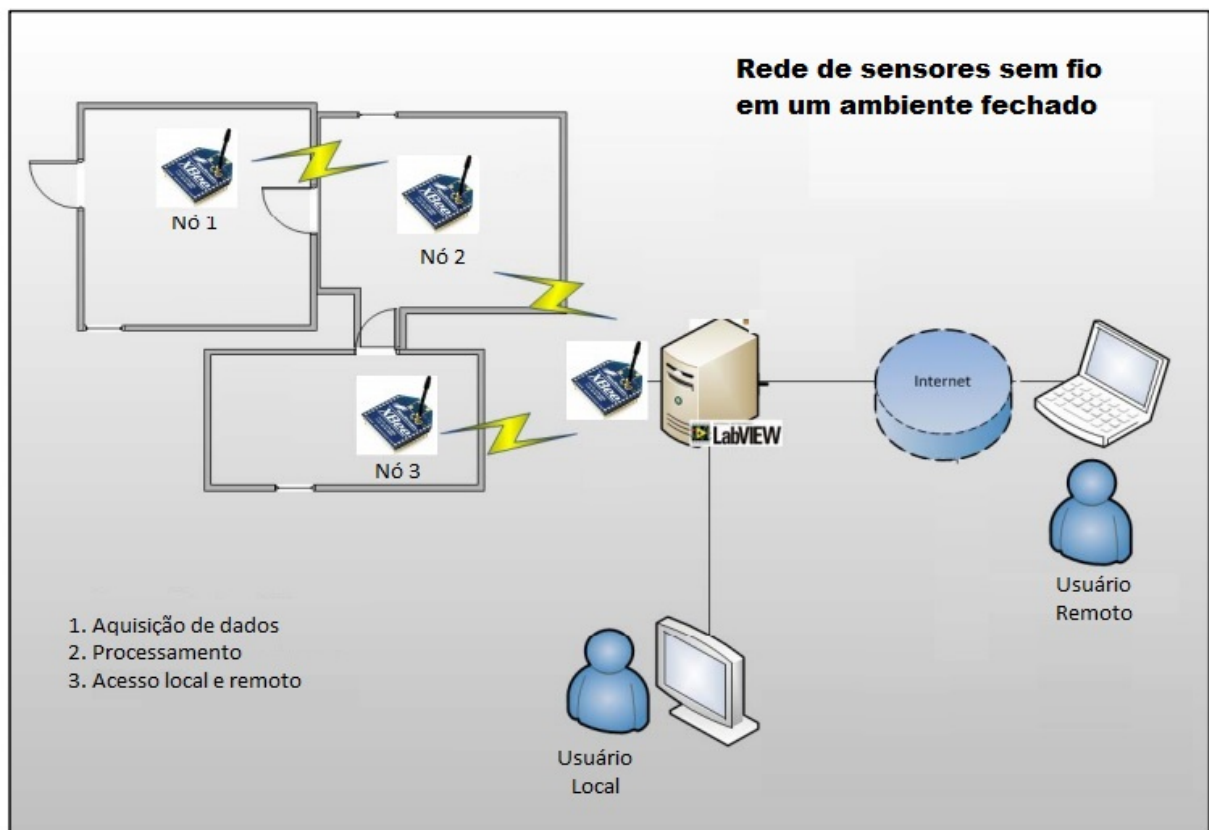


Figura 4.1 - Diagrama esquemático da rede de sensores implementada
Fonte: O próprio autor

Os módulos Xbee foram configurados no modo API. Neste modo, a transmissão dos dados se dá por meio de quadros (*frames*), cujo número de bytes varia de acordo com a quantidade de dados que estão sendo lidos pelo módulo. Para a rede implementada cada quadro era composto por 16 bytes.

4.2 INSTRUMENTO VIRTUAL DESENVOLVIDO

Para fazer o processamento dos dados da WSN, foi desenvolvido um instrumento virtual. Na Figura 4.2 e 4.3 são apresentadas imagens do painel frontal do mesmo e na Figura 4.4 é apresentado seu diagrama de blocos.



Figura 4.2 - Visão da aba 'Dados Recebidos', do painel frontal do VI desenvolvido
Fonte: O próprio autor



Figura 4.3 - Visão da aba 'Gráficos' do painel frontal do VI desenvolvido
Fonte: O próprio autor

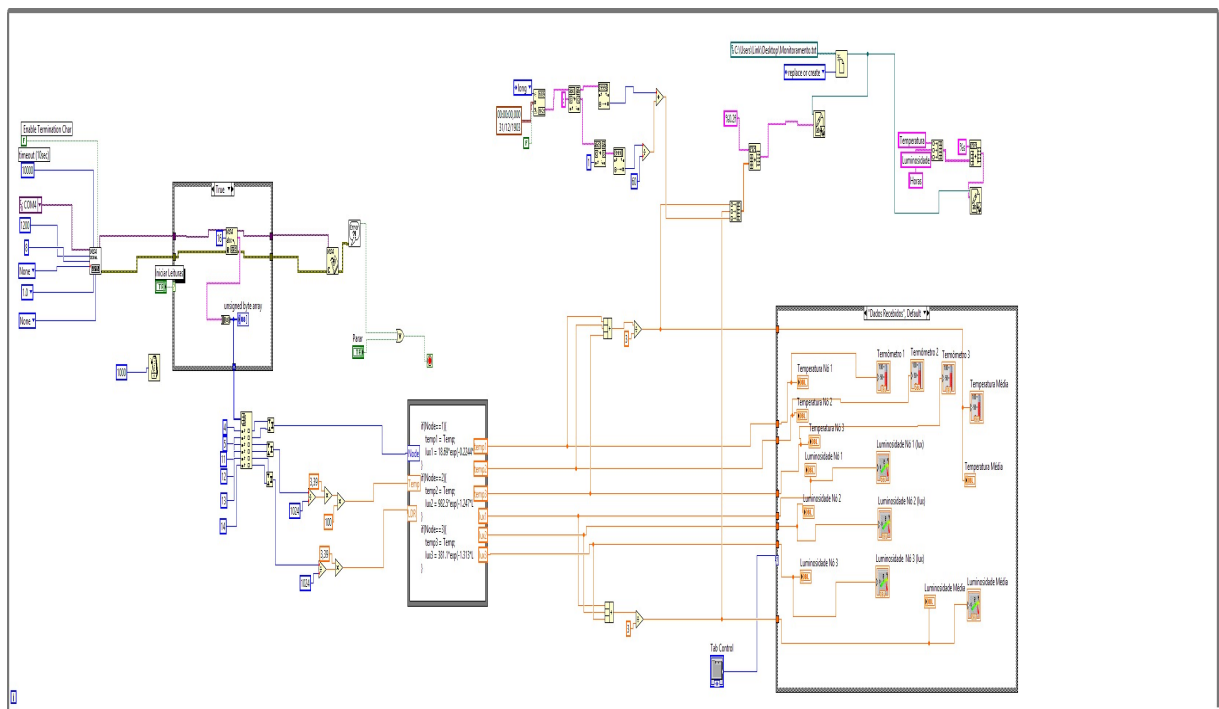


Figura 4.4 - Diagrama de blocos do VI desenvolvido
Fonte: O próprio autor

Na aba Dados Recebidos, do painel frontal, o usuário tem acesso às medições de luminosidade e temperatura em cada nó da rede e aos valores médios destes parâmetros. Na aba Gráficos, são apresentados gráficos da variação com o tempo dos parâmetros medidos.

No diagrama de blocos, a recepção serial dos dados do adaptador Xbee é feita pelos blocos VISA. O bloco *VISA Configure Serial Port*, prepara a porta serial para a comunicação. Neste bloco são configurados parâmetros como a porta serial a ser utilizada, baud rate e o número de bits dos registradores.

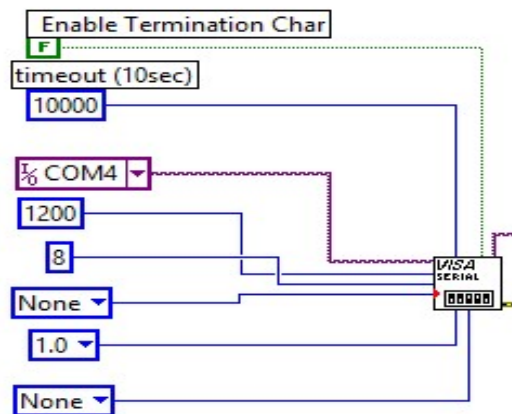


Figura 4.5 - Bloco VISA Configure Serial

Para realizar as leituras da porta serial utilizou-se o bloco *VISA Read*. Na entrada deste bloco especifica-se a quantidade de bytes por quadro recebido. Para a rede de sensores desenvolvida, cada quadro enviado pelos módulos Xbee é composto de 16 bytes. Desta forma, configurou-se o bloco para receber 16 bytes de dados. Na saída do bloco, tem-se uma string com os dados lidos pela porta serial.

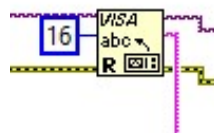


Figura 4.6 - Bloco VISA Read

No quadro de 16 bytes, três informações são de interesse: o endereço do nó que enviou o quadro, a leitura do LM35 e a leitura do LDR. Para obter estas informações, foi necessário processar o quadro recebido. Esse processamento se deu inicialmente pelo bloco *Index Array*. Este bloco foi responsável por separar os bytes de interesse. Uma vez separados

os dados, os mesmos eram processados por um bloco *Formula Node*. Na saída do bloco *Formula Node* tem-se os valores de temperatura e luminosidade de cada nó.

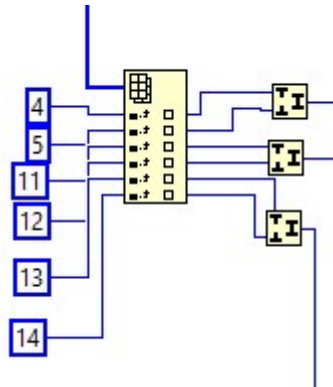


Figura 4.7 - Bloco Index Array, responsável pela separação dos bytes do frame recebido

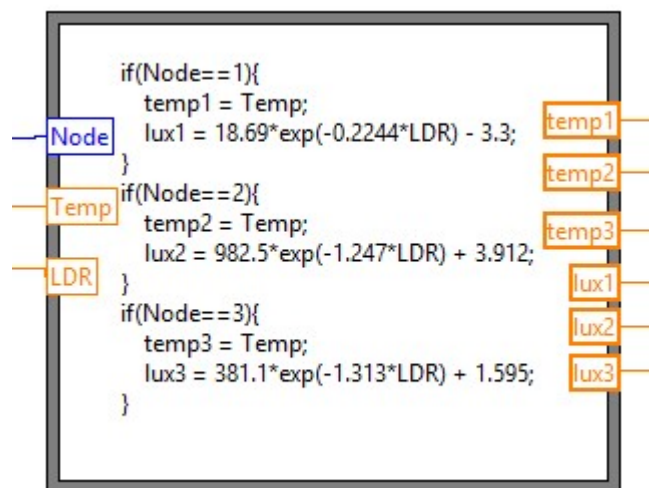


Figura 4.8 - Bloco Formula Node

4.3 COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS MONITORADOS

Todos os dados recebidos pelo VI foram salvos em um arquivo de texto do Windows (.txt) e posteriormente foram analisados utilizando o MATLAB. Por meio do MATLAB, é possível traçar as curvas que retratam comportamento da luminosidade e da temperatura do laboratório monitorado. Nas Figuras 4.9 e 4.10 são apresentadas as curvas obtidas de um monitoramento realizado das 16:00 hs às 18:00 hs, do dia 16/10/2016.

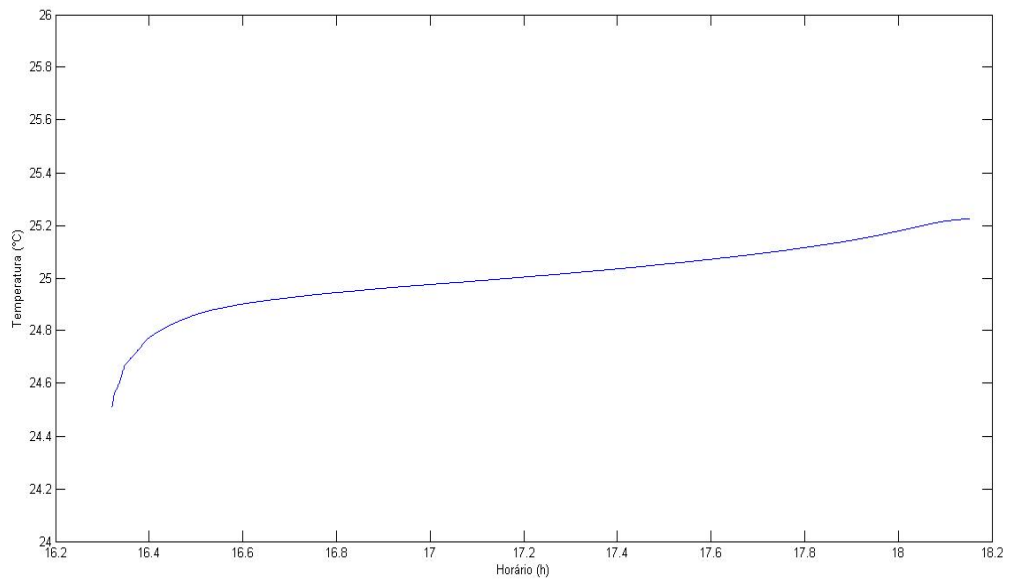


Figura 4.9 - Comportamento da temperatura durante o período monitorado

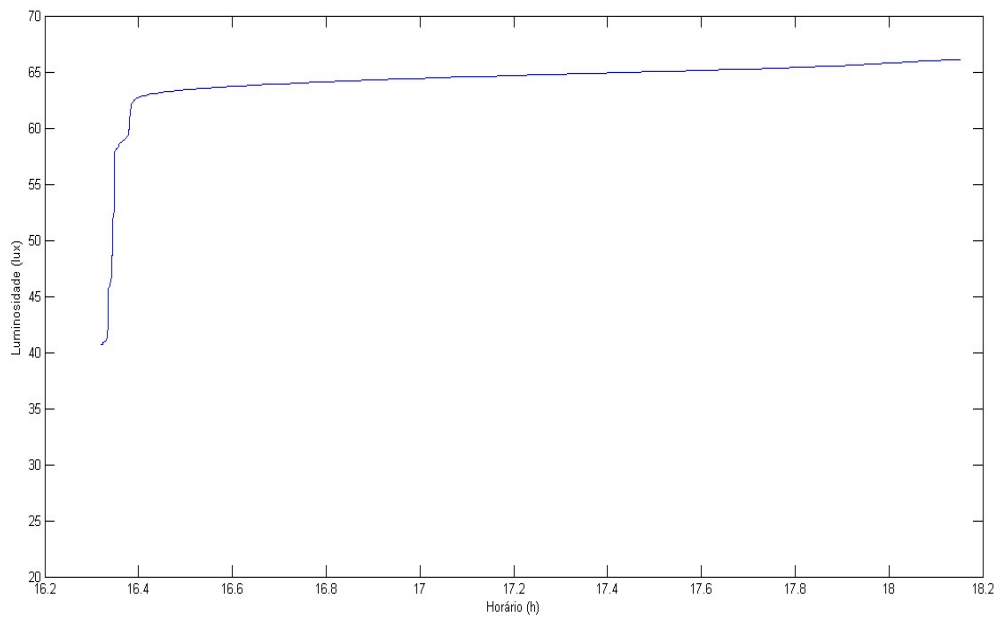


Figura 4.10 - Comportamento da luminosidade durante o período monitorado

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal contribuição deste trabalho foi o desenvolvimento de uma rede de sensores sem fio capaz de medir variações de temperatura e luminosidade; e o desenvolvimento de um instrumento virtual que possibilitou uma maneira simples de visualização e processamento dos dados obtidos por esta rede.

A tecnologia ZigBee se mostrou eficiente na implementação de redes de sensores sem fio. Os módulos Xbee são de fácil manuseio e oferecem um bom número de funções ao usuário.

A rede de sensores sem fio foi desenvolvida para o monitoramento de um ambiente indoor, mas a mesma também pode ser utilizada para o monitoramento de outros tipos de ambientes. A topologia de rede utilizada (tipo estrela) permite a fácil introdução de mais nós sensores na rede, fato este que agrega uma maior versatilidade ao projeto executado.

O instrumento virtual desenvolvido pode ser facilmente modificado para fazer diferentes processamentos dos dados obtidos. O mesmo também pode ser acessado remotamente via internet, possibilitando o monitoramento remoto do ambiente no qual a rede de sensores sem fio foi implementada.

Existe um erro inerente nas leituras de luminosidade do LDR, dado que o mesmo apenas capta a luminosidade que incide verticalmente sobre ele. Este erro poderia ser mitigado inserindo o mesmo no foco de uma estrutura parabólica, o que faria com que toda a luminosidade fosse refletida na parte sensível a luz do dispositivo.

Como opção para possíveis trabalhos futuros ficam a implementação de medidas para o controle dos parâmetros monitorados pela rede e a utilização da rede de sensores sem fio em aplicações de segurança.

REFERÊNCIAS

AKYILDIZ, I. F., WEILIAN, S., SANKARASUBRAMANIAM, Y., CAYIRCI, E. **A Survey on Sensor Networks**. Communications Magazine, IEEE , vol.40, no.8, pp. 102- 114, Agosto 2002

BURATTI, C. **Sensor Networks with IEEE 802.15.4: Systems Distributed Processing, MAC, and Connectivity**. Springer, 2011,

ERTUGRUL, N. **LabVIEW for Electric Circuits, Machines, Drives, and Laboratories**, Prentice Hall PTR, 2002.

KARL, H., WILLIG, A. **Protocols and architectures for wireless sensor networks**. Chichester, West Sussex, England Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2007.

KINNEY, P. **ZigBee technology: wireless control that simply works**. 2003. Disponível em: <<http://www.zigbee.org/LearnMore/WhitePapers.aspx>>. Acesso em: Set. 2016.

KWOCK, D. **Virtual Instruments**. In: Electronic Instrument Handbook. Third Edition. McGraw-Hill. 2004. p. 45.1-45.24

MONSIGNORE, F., **Sensoriamento de Ambiente Utilizando o Padrão ZigBee**, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2007

NATIONAL INSTRUMENTS. **Manual de treinamento do LabVIEW**. Outubro, 2000.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**. 2000. Disponível em: <<http://www.national.com/ds/LM/LM35.pdf>>. Acesso em: Set. 2016.

NENOKI, E., **ZigBee – Estudo da Tecnologia e Aplicação no Sistema Elétrico de Potência**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2013

OBRENOVIC, Z., STARCEVIC, D., JOVANOVIĆ, A. **Virtual Instrumentation**. Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering. 2006.

OLIVEIRA FILHO, José Carlito de. **Minicurso ZigBee**. 2010. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/1634>>. Acesso em: Set. 2016.

SANTORI, M. **An instrument that isn't really**, IEEE Spectrum 27(8), 36 - 39 (1990).

SEIDEL, C., FERREIRA, F. M., OLIVEIRA, E. C. R. **Aplicação de Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) para Engenharia Ambiental**, ICECE, 2010

SILVA, L.H.S. **Desenvolvimento de uma Rede de Sensores Sem Fio Utilizando ZigBee para Aplicações Diversas**. Universidade de Pernambuco, Recife – PE, Junho de 2011

SOHRABY, K., MINOLI, D. & ZNATI, T. (2007). **Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications**. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience.

ZIGBEE ALLIANCE. **ZigBee Specification**. 2007. Disponível em: <<http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/download.aspx>>. Acesso em: 20 Set. 2016.