

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

FABIO FERNANDES

**Sistema de Iluminação Inteligente através de Redes de
Sensores Wireless**

GUARATINGUETÁ

2011

FABIO FERNANDES

Sistema de Iluminação Inteligente através de Redes de Sensores Wireless

Trabalho de Graduação, apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. José Feliciano Adami

GUARATINGUETÁ
2011

Fernandes, Fabio
F363s Sistema de iluminação inteligente através de redes de sensores wireless
/ Fabio Fernandes – Guaratinguetá : [s.n], 2011.
94 f : il.
Bibliografia: f. 92

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.
Orientador: Prof. Dr. José Feliciano Adami

1. Iluminação 2. Redes de sensores sem fio I. Título

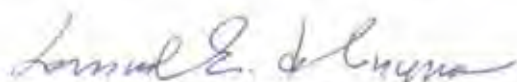
CDU 628.9

Sistema Inteligente de Iluminação Através de Sensores Wireless

FABIO FERNANDES

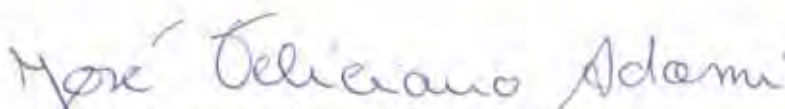
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

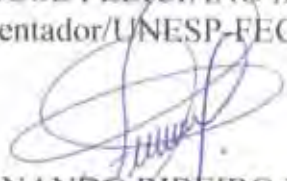


Prof. Dr. Samuel Euzédice de Lucena
Coordenador

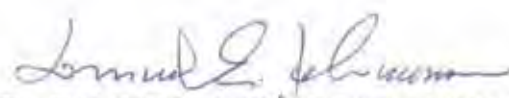
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. JOSÉ FELICIANO ADAMI
Orientador/UNESP-FEG



Prof. MSc. FERNANDO RIBEIRO FILADELFO
UNESP-FEG



Prof. Dr. SAMUEL EUZÉDICE LUCENA
UNESP/FEG

Dezembro de 2011

Dedico este trabalho a todos que, de alguma forma, ajudaram-me a chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por terem me dado todo suporte necessário, em todos os aspectos, para que eu nunca parasse de estudar e conseguisse me tornar um engenheiro,

à minha família, Xanadu, por partilhar os momentos mais importantes, mais felizes, mais engraçados, tristes e que marcarão minha vida para sempre,

aos amigos guaratinguetaenses, que com certeza, também fazem parte da família Xanadu,

à minha turma de engenharia elétrica que me deu suporte, conselhos e ajuda nos momentos mais difíceis,

à *Keissy Kelly de Paula* por estar sempre presente e por toda ajuda que me deu, principalmente nos últimos momentos do curso,

ao meu grande amigo de infância, *William Kendi Moriya*, de alguma forma, me fez ser esta pessoa que estou me tornando,

ao meu orientador, *Prof. Dr. José Feliciano Adami*, por ter me ajudado a tornar esse trabalho realidade,

aos amigos de trabalho, que me deram inspiração,

à todos amigos que, de alguma forma, moldaram minha vida e me ajudaram a ser a pessoa que sou.

FERNANDES, F. **Sistema de Iluminação Inteligente Através de Sensores Wireless**. 2011. 95 f. Trabalho de Graduação (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é colaborar com a sociedade, trabalhando em um assunto que está ligado diretamente às questões de sustentabilidade e preservação do meio ambiente. Para isso, uma pesquisa foi desenvolvida com o intuito de tornar possível a criação de um mecanismo inteligente, com a utilização de soluções *wireless* para o controle de consumo energético, de forma a satisfazer as necessidades de qualidade de vida e diminuir o consumo médio de energia elétrica. Um sistema de iluminação inteligente pode ser explicado, de maneira simplificada, como uma rede de lâmpadas interligadas com a finalidade de atender necessidades como a intensidade da iluminação, a localização da mesma, o momento em que vai acender ou apagar, dentre outras possibilidades. Esta rede de lâmpadas é controlada através de algoritmos implementados através de microcontroladores, onde se pode ou não ter suas características modificadas. Esta pode ser automática (pré-programado pelo administrador) ou manual (controlado através de um controle remoto, celulares, etc), sendo que a escolha dependerá do próprio administrador e também das características impostas no projeto. No entanto, é importante destacar que, após a conclusão da pesquisa, as decisões tomadas serão condizentes com a realidade brasileira, ou seja, esse sistema só pode ser viabilizado se tiver todas as características descritas acima, mas com um preço acessível para que as pessoas possam adquiri-lo.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de iluminação inteligente. Zigbee. Automação Residencial.

FERNANDES, F. Intelligent Lighting System Using Wireless Sensors. 2011. 95 p. Work degree (BS in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

The objective of this project is to collaborate with the society, working on a subject that is directly linked to issues of sustainability and environmental preservation. For this, a survey is being developed in order to make possible the creation of an intelligent mechanism, with the use of wireless solutions for the control of energy consumption in order to meet the needs of quality of life and reduce the average consumption of electrical energy. An intelligent lighting system can be explained simply, as an interconnected network of lamps in order to meet needs such as light intensity, the location of it, the moment will turn on or turn off the lights, among other possibilities. This network of lamps is controlled by algorithms implemented using microcontrollers, which may or may not have changed its characteristics. This can be automatic (pre-programmed by the administrator) or manual (controlled via a remote control, phones, etc.), and will depend upon the manager himself and also the characteristics imposed on the project. However, it is important to note that after the search is complete, decisions will be consistent with the Brazilian reality, ie, this system can only be feasible if it has all the characteristics described above, but with an affordable price so that people can acquire it.

KEYWORDS: intelligent lighting system. Zigbee. Home automation.

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 - Ilustração de uma casa inteligente	20
Figura 2 – Arquitetura de uma rede WSN	26
Figura 3– Exemplos de lâmpadas LED	29
Figura 4 - Reator dimerizável para lâmpadas fluorescentes tubulares	29
Figura 5 – Comparativo da taxa de transmissão de tecnologias “Wireless”	35
Figura 6 – Topologias Zigbee.....	38
Figura 7 – Camadas do protocolo Zigbee.....	41
Figura 8 - Estrutura do Frame de dados no modo API.....	43
Figura 9 – Exemplo de rede bluetooth.....	48
Figura 10 – Piconets, (a) Única operação <i>slave</i> , (b) Operação <i>multi-slave</i> , (c) Operação <i>scatternet</i>	49
Figura 11 – Pinos da interface paralela	52
Figura 12 – Sequência de bits de uma transmissão serial.....	53
Figura 13 – Pinos do padrão serial RS232	55
Figura 14 – Conector macho USB.....	61
Figura 15 - Conector USB 3.0 (estrutura interna)	63
Figura 16 – Sensor de presença padrão	66
Figura 17 – Representação do protocolo de comunicação	68
Figura 18 – Protocolo utilizado nos receptores controladores	68
Figura 19 – Pinos do microcontrolador PIC16F877A.....	69
Figura 20 – Esquemático do circuito dos sensores.....	71
Figura 21 – Placa finalizada do circuito dos sensores	71
Figura 22 – Esquemático do circuito do receptor.....	72
Figura 23 – Placa finalizada do circuito do receptor	72
Figura 24 – Interface do sistema.....	74

Figura 25 – Sistema de agendamento	74
Figura 26 – Placa Xbee INT700	75
Figura 27 – Ambiente do X-CTU (PC Settings)	76
Figura 28 – Ambiente do X-CTU (Com Test)	77
Figura 29 – Ambiente do X-CTU (Modem Configuration)	77
Figura 30 – Ambiente do X-CTU (Terminal e Range Test).....	79
Figura 31 – Fluxograma de inicio da porta serial	80
Figura 32 – Fluxograma da <i>thread</i> de comunicação serial.....	81
Figura 33 – Procedimento de recepção dos dados.....	82
Figura 34 – Processar um dado recebido pela porta serial	83
Figura 35 – Fluxograma do processo de enviar um dado.....	84
Figura 36 – Fluxograma do processo agenda	85
Figura 37 – Fluxograma do código dos sensores	86
Figura 38 – Fluxograma do receptor controlador.....	87

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre Zigbee e Bluetooth	50
Tabela 2 – Análise de custo para cada tipo de lâmpada	88
Tabela 3 – Valor total do projeto.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACK	– <i>Acknowledgment</i>
AES	– <i>Advanced Encryption Standard</i>
AF	– <i>Application Field</i>
ANATEL	– <i>Agência Nacional de Telecomunicações</i>
AODV	– <i>Ad Hoc On-Demand Distance Vector</i>
API	– <i>Application Programming Interface</i>
APS	– <i>Application Support</i>
CD	– <i>Received Line Signal Detector</i>
CRC	– <i>Cyclic Redundancy Check</i>
CSMA/CA	– <i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
CTS	– <i>Clear to Send</i>
DH	– <i>Destination Address High</i>
DL	– <i>Destination Address Low</i>
DSR	– <i>Data Send Ready</i>
DSSS	– <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
DTE	– <i>Data Circuit-terminating Equipment</i>
EIA	– <i>Electronic Industries Association</i>
EPC	– <i>Electronic Product Code</i>
ETC	– <i>Transmitter Signal Element Timing</i>
FFD	– <i>Full Function Device</i>
FHS	– <i>Frequency Hopping Synchronization</i>
FHSS	– <i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>
GND	– <i>Ground</i>
GPIB	– <i>General Purpose Interface Bus</i>
GTS	– <i>Guarantee Time Slots</i>
IAS	– <i>Industrial, Scientific and Medical</i>
IR	– <i>Infrared</i>
IrDA	– <i>Infrared Data Association</i>
IrLAP	– <i>Link Access Protocol</i>
IrLMP	– <i>Link Management Protocol</i>

LED	– <i>Light Emissor Diod</i>
LL	– <i>Local Loopback</i>
MAC	– <i>Media Access Memory</i>
MIT	– <i>Massachusetts Institute of Technology</i>
NRZI	– <i>No Return to Zero Inverted</i>
NWK	– <i>Network Layer</i>
PC	– <i>Personal Computer</i>
PCI	– <i>Peripheral Component Interconnect</i>
PDA	– <i>Personal Digital Assistants</i>
PHY	– <i>Physical Signaling Layer</i>
QoS	– <i>Quality of Service</i>
RAM	– <i>Random Access Memory</i>
RC	– <i>Receiver Signal Element Timing</i>
RFID	– <i>Radio Frequency Identification</i>
RF	– <i>Radiofrequência</i>
RFD	– <i>Reduced Function Device</i>
RI	– <i>Ring Indicator</i>
RL	– <i>Remote Loopback</i>
RS	– <i>Recommended Standard</i>
RSSI	– <i>Received Signal Strenght Indicator</i>
RTS	– <i>Request to Send</i>
SCD	– <i>Secondary Received Line Signal Detector</i>
SIG	– <i>Special Interest Group</i>
TM	– <i>Test Mode</i>
UART	– <i>Universal Asynchronous Reciever/Transmitter</i>
USB	– <i>Universal Serial Bus</i>
UV	– <i>Ultravioleta</i>
WSN	– <i>Wireless Sensor Network</i>
ZDO	– <i>Zigbee Device Object</i>

LISTA DE SIMBOLOS

V	Volts
m	metros
lm/W	lumen por watt
K	Kelvin
kHz	kilo-hertz
MHz	mega-hertz
GHz	giga-hertz
bps	bits por segundo
Mbps	megabits por segundo
kbps	quilobits por segundo
km	quilômetro
kB	quilobyte
mW	miliwatt
μ A	microamperes
mA	miliamperes

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL.....	18
2.1	História.....	18
2.1.1	Características	19
2.2	Tecnologias Comercializadas no Brasil.....	20
2.2.1	Insteon	20
2.2.2	Z-Wave	21
2.2.3	Home Works Lutron.....	21
2.2.4	LonWorks	21
2.2.5	Install Heading.....	22
2.2.6	IHC	22
2.2.7	X10	22
2.2.8	Zigbee	22
2.3	Rede de Sensores Wireless – <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN).....	23
2.3.1	Arquitetura da WSN	23
2.3.1.1	Fonte de alimentação	23
2.3.1.2	Unidade de processamento	24
2.3.1.3	Unidade de transmissão	24
2.3.1.4	Sensores	24
3	ILUMINAÇÃO E SEUS ACESSÓRIOS	27
3.1	Incandescente	27
3.2	Fluorescentes	27
3.2.1	Fluorescentes Tubulares	27
3.2.2	Fluorescentes Compactas	28
3.3	LED.....	28
3.4	Reatores	29
4	A COMUNICAÇÃO SEM FIO – PROTOCOLOS.....	30
4.1	RFID – Identificação por Radiofrequência.....	30
4.1.1	Componentes da RFID	30
4.1.2	Vantagens e Desvantagens	31

4.2	Infravermelho (IrDA)	32
4.2.1	Características.....	32
4.2.2	Protocolos	33
4.3	Zigbee	34
4.3.1	Características.....	34
4.3.2	Topologias das Redes	36
4.3.3	Formação de uma Rede Zigbee	38
4.3.4	Atribuição de Endereços.....	39
4.3.5	Camadas	39
4.3.6	Segurança.....	42
4.3.7	Tráfego.....	42
4.3.9	<i>Software e Hardware</i>	44
4.3.10	Perspectiva Futura	45
4.4	Bluetooth.....	45
4.4.1	Histórico	46
4.4.2	Características.....	46
4.4.3	Redes Bluetooth.....	48
4.5	Bluetooth Vs Zigbee	49
5	TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS	51
5.1	Interfaces Paralelas	51
5.2	Interfaces Seriais.....	52
5.2.1	Norma RS232	54
5.2.2	Norma RS422	57
5.2.3	Norma RS485	57
5.2.4	Norma RS449	58
5.2.5.	Norma RS530	59
5.3	Interface USB	59
5.3.1	USB 1.0	61
5.3.2	USB 1.1	62
5.3.3	USB 2.0	62
5.3.4	USB 3.0	62
6	O PROJETO – METODOLOGIA	64
6.1	Funcionamento do Sistema.....	64

6.1.1	Ambiente e Funcionamento Geral	64
6.1.2	Lâmpadas	65
6.1.3	Módulo Sensor.....	66
6.1.4	Receptor Controlador	67
6.2	Protocolo de Comunicação	67
6.3	Microcontrolador	69
6.4	Circuito Eletrônico.....	70
6.5	Interface Gráfica	73
6.6	Configuração dos Módulos Zigbee.....	75
6.7	Linguagem de Programação e Fluxogramas.....	79
6.7.1	Interface Gráfica	79
6.7.2	Microcontrolador	85
7	RESULTADOS E ANÁLISES	88
7.1	Lâmpadas	88
7.2	Dispositivos Sem Fio	89
7.3	Projeto em geral	90
8	CONCLUSÃO	91
	REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	92

1INTRODUÇÃO

A cada dia que passa o consumidor tem procurado unir qualidade, alta eficiência, durabilidade e baixo consumo. Isso também ocorre quando falamos em iluminação de ambientes e, para que este objetivo seja atingido, deve haver um bom planejamento.

Estudos revelam que a iluminação adequada reflete diretamente no bem-estar e na disposição de uma pessoa, além de auxiliar na prevenção de acidentes. No entanto, nem sempre estes aspectos são levados em consideração. A influência vai desde a intensidade; cor das lâmpadas; pisos e paredes; iluminação externa; entre outras, que devem estar de acordo com as atividades desenvolvidas no local.

O ponto inicial de um bom projeto de iluminação é definir quantos pontos de luz são necessários e que tipo de produto é o mais apropriado para que a qualidade esteja conciliada com a economia de energia. Pensando nisso, os chamados Sistemas Inteligentes de Iluminação regulam a intensidade de luz conforme a necessidade do ambiente, e então, as lâmpadas não precisam ficar totalmente acesas como acontece normalmente.

Para um sistema de iluminação inteligente, deve-se ter em mente algumas características básicas: uma lâmpada que se adapte ao ambiente, uma luminária eficiente e uma rede de sensores sem fio onde se tem o controle e a automatização da iluminação.

O sistema de controle de iluminação utilizado neste projeto é composto por microcontroladores de baixo custo, dotado de sensores embarcados que verificam, continuamente, a presença de usuários. Através de algoritmos o sistema automatiza a intensidade de iluminação ideal para o ambiente, utilizando instrumentos que regulam a intensidade de luz.

Com o uso crescente de redes sem fio para conexões em celulares e *notebooks*, surge a ideia de usar essa tecnologia para um projeto de iluminação. Uma rede de sensores sem fio é uma composição de nós que se intercomunicam transmitindo – de maneira otimizada – informações coletadas em um dado meio. Contudo, é importante ressaltar que é necessário escolher os dispositivos adequados para o bom funcionamento do projeto, incluindo sensor, fonte de alimentação e o elemento de transmissão, além do protocolo de comunicação, atentando para as limitações existentes relacionadas ao consumo de energia, latência e confiabilidade de comunicação.

2 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

2.1 História

A automação residencial difere bastante do sistema conceituado em meados dos anos 60, onde a ideia era tornar uma casa automática. As pessoas têm tendência a considerar uma casa automática como uma integração de técnicas de inteligência artificial, porém existe um longo percurso para que isto aconteça, ou seja, tornar uma residência totalmente independente.

Para Bolzani (2004), a automação residencial está baseada no fato de permitir que dispositivos comuniquem entre si, controlados por um sistema central a fim de permitir controlar a residência remotamente, diminuir o tempo com tarefas repetitivas, economizar energia elétrica, dinheiro e aumentar o conforto. Já Meyer (2004) diz que a essência da automação residencial é o uso de equipamentos especializados em controlar lâmpadas, aquecedores, ar condicionado, e talvez perceber em que local da casa está as pessoas.

O termo “automação residencial” migrou do conceito utilizado na automação industrial, e hoje pode ser utilizado em processos automatizados de casas, apartamentos e escritórios. O conceito de automação residencial pode também ser chamado de automação doméstica ou domótica. Existe uma diferente realidade entre o uso destes dois tipos de arquitetura, e o avanço tecnológico na área da microeletrônica e da informática permitem criar sistemas de baixo custo, onde não há a necessidade de grandes centrais controladoras ou pesados sistemas de cabeamento. Por outro lado, em uma residência não é necessário controlar processos de produção industrial com precisão e redundâncias. Ao invés disso, é necessária a integração e interação entre dispositivos eletrônicos relacionados à comunicação, transmissão de dados, iluminação, climatização, segurança, áudio e vídeo, formando uma rede de comunicação. Estes dispositivos fazem parte do cotidiano das pessoas, realizando de forma automática tarefas rotineiras, tendo como base o comportamento previsível do usuário ou a partir de uma programação prévia.

Um marco importante para a história da automação foi a criação de uma tecnologia chamada X-10, em 1975, produzida pela empresa *Pico Electronics of Glenrothes* onde foram os primeiros módulos inteligentes de automação. O protocolo X-10 é uma linguagem que permite que os produtos compatíveis se comuniquem através da rede elétrica já existente na residência, evitando assim que novos cabeamentos sejam feitos, diminuindo o custo de

instalação. Pela sua simplicidade, hoje existem diversos fabricantes que produzem equipamentos com protocolo X-10.

A partir dos anos 80, com a evolução da informática, foi possível a criação de sistemas totalmente amigáveis com os usuários, com interfaces gráficas e fácil acesso às configurações. Porém, o grande salto da automação foi conquistado nos anos 90, com a difusão da Internet e celulares, no qual consumidores passaram a se interessar por estas tecnologias.

Atualmente, no Brasil, existe uma vasta gama de incorporadores, construtores, arquitetos, e projetistas em automação residencial, que oferecem diversas opções para sistemas integrados. Isto aponta para um grande crescimento da oferta de novos imóveis preparados para receber automação.

2.1.1 Características

A automação tem como principal objetivo garantir conforto e operação eficiente. No entanto, é necessário um integrador. O integrador tem o conceito de plataforma de infraestrutura, onde estabelece um sistema único de telecomunicação entre os sistemas da rede e é responsável pela harmonia e interoperabilidade de todo o conjunto.

Os sistemas em uma residência, como ilustra a Figura 1, podem ser:

- Telefonia: Sistema telefônico, porteiros eletrônicos;
- Informática: rede doméstica, *WI-FI*;
- Rede elétrica: tarifas setorizadas, controle de cargas, sistema de monitoramento de falhas;
- Segurança: Circuito fechado de TV, alarmes, iluminação de segurança, detector de fumaça, alarmes de incêndio;
- Iluminação: iluminação decorativa e funcional, ambientes de iluminação (combinação de luzes para um determinado caso);
- Entretenimento: *home-theater*, TV por assinatura;
- Climatização: ar-condicionado, aquecedor, ventilação.

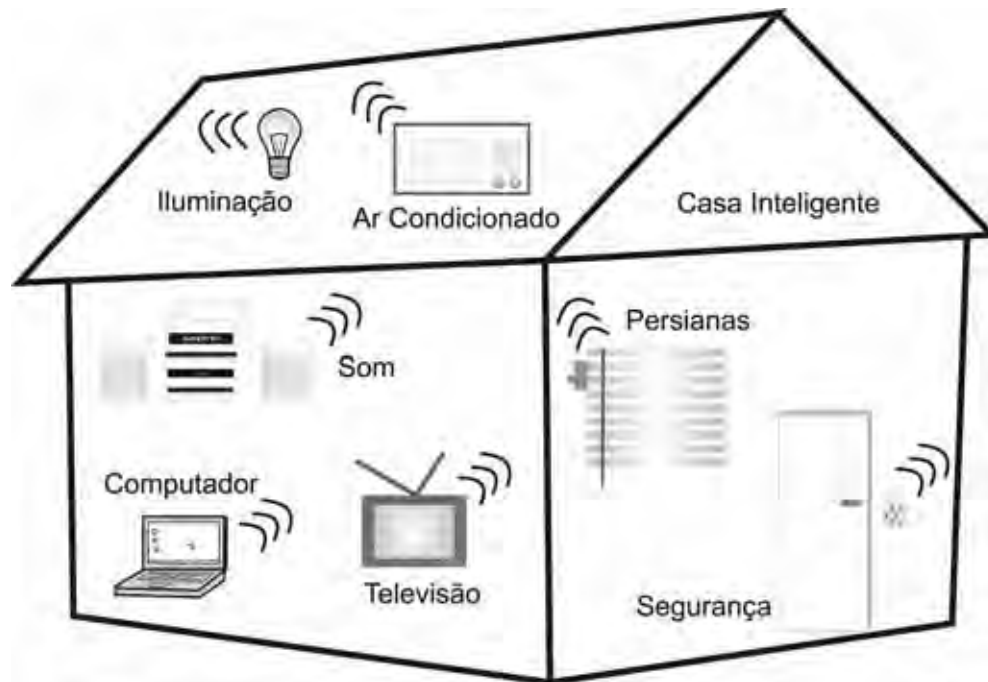


Figura 1 - Ilustração de uma casa inteligente

2.2 Tecnologias Comercializadas no Brasil

Neste tópico, São descritas as principais tecnologias comercializadas no Brasil.

2.2.1 Insteon (DK Sistemas)

Trata-se de um protocolo de comunicação *plug-and-play* de mão dupla, que usa a rede elétrica para o transporte de dados. Apresenta, como vantagem, o fato de possibilitar um controle maior do sinal para que o comando não pare de funcionar independentemente de qualquer interferência causada por oscilações na parte elétrica. Cada um dos equipamentos é identificado com um endereço para o qual é enviado o sinal. O transporte de dados se dá por meio de radiofrequência ou cabeamento, sendo considerada a segunda opção mais segura para este tipo de tecnologia, capaz de funcionar com 110 ou 220 V. Aqui os sistemas possuem controladores, através dos quais você pode programar as funções, que podem ser colocados na parede ou então há a opção de utilizar um computador e um software específico para tal finalidade.

2.2.2 Z-Wave (Segatto)

Considerada uma das tecnologias que mais se destacam atualmente, completamente sem fio, usa uma largura da banda estreita para enviar comandos e dados secundários, e não permite transmissão de áudio e vídeo. O protocolo Z-Wave também tem comunicação de mão dupla, o que significa que consegue receber e enviar sinal. Proporciona maior economia de energia elétrica e há a oportunidade de agregar novos dispositivos à automação de forma simples. Sendo assim, o controle é classificado como sendo descentralizado, já que cada equipamento recebe um *chip* Z-Wave individual, com capacidade de programação e de definição sobre qual o melhor “trajeto” para o transporte de dados. Sua topologia é em forma de malha com até 232 dispositivos a uma distância de 30 m. Podem ter dimerizadores para lâmpadas e o usuário comanda as funções utilizando um controle remoto. Uma desvantagem é que a velocidade da transmissão dessa tecnologia ainda é um pouco lenta e quando há necessidade de utilizar mais de 30 dispositivos fica mais caro do que um sistema cabeado.

2.2.3 Home Works Lutron (Lutron)

Especializada em iluminação com dimerização, é uma das mais caras por seu *design* e controles sofisticados. Possui protocolo de comunicação proprietário e sua transmissão pode ser tanto por cabeamento quanto por rádiofrequência. Seu sistema de controle é também descentralizado, com algumas exceções para clientes específicos.

2.2.4 LonWorks (P2P)

Com controle também descentralizado, possui transporte por cabeamento e é a mais popular no segmento de automação. Os aparelhos que utilizam essa tecnologia são equipados com um microcontrolador denominado Neuron, que suporta seu protocolo de comunicação, conhecido como *Lon Talk*. Uma desvantagem é que os dispositivos são caros e há interoperabilidade entre os equipamentos de fabricantes diferentes na rede.

2.2.5 Install Heading (Heading Produtos e Serviços Ltda)

Tecnologia desenvolvida no Brasil, com cabeamento estruturado, controle centralizado o que permite controlar e supervisionar todas as funções programadas e ainda não programadas em uma residência mesmo que à distância. A interface pode ser através de controle ou *palmtop*. Um ponto negativo em relação a essa tecnologia é que os dispositivos são programados através de um software específico, e isso torna o usuário dependente da disponibilidade do fabricante para manutenção do sistema.

2.2.6 IHC - Intelligent Home Control – (Schneider)

Possui cabeamento estruturado, controle centralizado e a interface pode ser feita através de um painel de controle local, controle remoto infravermelho, internet e telefone. Pode ser implantado por etapas, alterado ou ampliado a qualquer momento.

2.2.7 X10

Protocolo de comunicação de mão única, ou seja, apenas envia, comunicando-se através da rede elétrica já existente. Tem por principal desvantagem o fato de que só opera funções básicas, como liga/desliga e da alta interferência da própria rede elétrica.

2.2.8 Zigbee

Desenvolvida em conjunto pela Honeywell, Philips, Samsung, Motorola, Cisco Systems, Eaton, Crestron, Legrand, LG, NEC, Epson e Texas Instruments, Zigbee é uma tecnologia que proporciona baixo consumo de energia, utilizando apenas pilhas comuns, sendo os dados transportados por *wireless* e o sistema de controle descentralizado. Como a Z-Wave, pode utilizar topologia em forma de malha e tem o protocolo de comunicação de mão dupla. Os dispositivos trabalham juntos para transportar dados. É uma rede de baixa largura com tecnologia de controle de rede que opera no padrão IEEE 802.15.4, e tem 26 frequências que podem ser escolhidas nesta banda. A rede também tem a habilidade, sem intervenção do

operador, de mudar de canal. Supera sua concorrente Z-Wave pela velocidade em transmissão de dados.

2.3 Rede de Sensores Wireless – *Wireless Sensor Network* (WSN)

Atualmente existem várias formas de transmissão de dados a disposição das pessoas, porém a sem fio é a que está mais difundida. A partir do momento que estão surgindo aparelhos de baixa potência com eficiência, a rede sem fio leva a autonomia para os mesmos. Uma WSN pode ser descrita como um conjunto de dispositivos, que utilizam os sensores para o monitoramento das condições físicas ou ambientais do ambiente.

2.3.1 Arquitetura da WSN

A arquitetura básica de uma rede de sensores *wireless* é composta por:

- Fonte de alimentação;
- Unidade de processamento;
- Unidade de transmissão;
- Sensores.

2.3.1.1 Fonte de alimentação

Podendo ser em forma de bateria (flexível), fonte fixa ou ainda através do autocarregamento, como pela energia solar. A escolha depende da localização e infraestrutura do local onde será inserido, e o que apresentar melhor desempenho para a necessidade em questão.

2.3.1.2 Unidade de processamento

São os nós-sensores que processam as informações que eles mesmos coletaram e as que foram transmitidas a eles. Hoje em dia são utilizados processadores de 8-bits para redução dos custos, além de possuírem um sistema operacional próprio, por exemplo, *TinyOS*.

2.3.1.3 Unidade de transmissão

Utiliza radiofrequência (RF) de curto alcance e baixa taxa de transmissão de dados, usando um protocolo de rede. Normalmente é onde há maior consumo de energia.

2.3.1.4 Sensores

Os sensores são o ponto chave em um projeto de rede de sensores *wireless*, pois fazem a integração entre os usuários e o sistema. Eles transformam energia recebida em sinal elétrico que, por sua vez, pode ser recebida pelos microcontroladores digitalmente e por seguinte fazer o controle do sistema.

Os chamados nós de medição se comunicam com um *gateway* central que possibilita a medição, análise e apresentação dos dados coletados. Os sensores se comunicam utilizando topologias de rede, que são explicadas nos próximos tópicos.

Por apresentar uma central de controle que atende os requisitos de comunicação de diferentes tipos de sensores, o WSN é considerado uma das redes principais no domínio da domótica.

Uma grande vantagem, não só da WSN, mas de qualquer sistema de rede de sensores é que, ao contrário dos dispositivos sem fio convencional, são utilizados aparelhos pequenos e de baixo custo, podendo ser usados em diversas áreas já que são de processamento de informações simples, sem necessidade de infraestrutura de suporte. No entanto, uma desvantagem encontrada é que a capacidade da bateria é pequena, pois os aparelhos utilizados também o são.

Nessas redes de sensores *wireless* há uma junção entre sensor, computação e comunicação em um mesmo aparelho, focado no objetivo de fazer a informação chegar ao seu destino, não importando por qual nó esta irá passar e não tendo necessariamente que ser

passivos. São usados normalmente para monitorização das condições ambientais, localização em tempo real, do estado de estruturas ou equipamento. Um exemplo de rede são os módulos Zigbee que têm por base uma WSN.

Com relação aos protocolos usados nessas redes, eles têm de ser suportados por plataformas *hardware* de baixo consumo, eficientes e flexíveis. Para a elaboração desses, deve ser levada em consideração a capacidade da bateria que, como visto anteriormente, é pequena.

Os sensores *wireless* possuem muitas vantagens em comparação com os sensores comuns, pois:

- Podem ser instalados em qualquer ponto do ambiente onde irão atuar, sem a necessidade de fios, o que resulta em uma economia de fios, cabos, conduítes, etc;
- Possuem baixo consumo, permitindo uma longa vida útil para baterias;
- A rede de sensores pode ser facilmente ampliada ou movida para outros ambientes, sem custos de instalação;
- Podem ser instalados em ambientes não preparados para a automação como edifícios antigos ou sem automação;
- A instalação da rede de sensores é rápida e a configuração é fácil;
- A tecnologia *wireless* está em grande avanço, atualmente. A expectativa é que nos próximos anos a demanda desta tecnologia seja muito grande e conseqüentemente o custo dos sensores *wireless* seja mais vantajoso que os sensores comuns (a fio).

A Figura 2 mostra esta arquitetura.

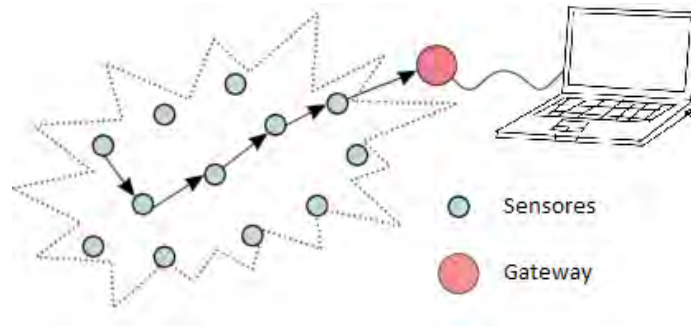


Figura 2 – Arquitetura de uma rede WSN

3 ILUMINAÇÃO E SEUS ACESSÓRIOS

3.1 Incandescente

A iluminação incandescente transforma energia elétrica em luminosa e térmica, emitindo mais calor do que luz, sendo seu rendimento de apenas 6% em energia visível, sendo o restante transformado em calor. Tem durabilidade de até mil horas, pois o filamento se torna mais fino conforme acontece o aquecimento até o momento em que o mesmo se rompe, fazendo com que a lâmpada se queime. Sua aplicação é preferencialmente residencial, por sua temperatura de cor agradável (amarelada) e total reprodução de cor.

3.2 Fluorescentes

Produz a emissão de raio ultravioleta (UV). A parede interna da lâmpada é pintada com pó de fósforo, e, quando os raios UV atravessam essa pintura, eles são transformados em luz visível. Com a evolução das lâmpadas, a pintura é feita hoje com o trifósforo nas três cores básicas (vermelho, verde e azul), o que resulta em maior fidelidade de reprodução de cores. As fluorescentes de 26 milímetros têm vida útil de 16 mil horas, aproximadamente. São utilizadas em áreas comerciais ou residenciais.

A cor (tonalidade) da lâmpada também influencia no conforto. Poucos consumidores sabem, mas as lâmpadas fluorescentes podem ser produzidas nas tonalidades amareladas, azuladas ou neutras e, cada uma delas, tem sua propriedade. Para um ambiente comercial, por exemplo, a branca-neutra torna os ambientes claros sem interferir nas atividades exercidas no local.

3.2.1 Fluorescentes Tubulares

Possuem as mais diferentes alternativas de cor de luz adequadas a cada tipo de aplicação, além de determinar a qualidade e quantidade de luz e a eficiência na reprodução de cor. São encontradas versões *Standard* (com eficiência energética de até 70 lm/W,

temperatura de cor entre 4.100 e 6.100K e índice de reprodução de cor de 85%) e Trifósforo (eficiência energética de até 100 lm/W, temperatura de cor entre 4.000 e 6.000K e índice de reprodução de cor de 85%). Seu desempenho pode ser otimizado com reatores.

3.2.2 Fluorescentes Compactas

São utilizadas para as mais variadas atividades, seja comercial, institucional ou residencial, com as seguintes vantagens: consumo de energia inferior ao da tubular, durabilidade dez vezes maior, desenho moderno e leve; aquecem menos o ambiente; e reproduz as cores em até 85% de fidelidade com tonalidade de cor adequada para cada ambiente, com opções entre 2.700K (aparência de cor semelhante às incandescentes) a 4.000K (aparência de cor mais branca).

3.3 LED

O diodo emissor de luz, ou *Light Emitting Diode* (LED), após anos sendo utilizado apenas como indicador luminoso de aparelhos, como rádio, televisão e computadores, agora transforma-se em fonte de luz visível. Trabalha em baixa tensão, entre 10 e 24 volts e seu consumo é de, em média, um watt, o que o torna bastante econômico. Com relação a sua vida útil, é extremamente alta em relação aos outros tipos de lâmpadas, cerca de 100 mil horas, dispensando manutenção em curto tempo. Outro benefício que se destaca é a não emissão de radiações infravermelhas e ultravioletas, além do fato de também ser dimerizável, assim como as lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos dimerizáveis e, por isso, pode ser usada em sistemas de iluminação inteligente. No entanto, uma das grandes desvantagens da LED é o seu custo elevado, pois ainda é produzida em baixa escala e é uma tecnologia que se encontra em fase de desenvolvimento, portanto sua utilização no Brasil ainda é mínima.

Os circuitos existentes para a dimerização da lâmpada a LED ainda são muito pouco difundidos no mundo, e, portanto não está em comercialização de larga escala nos dias atuais somente em projetos de automação residencial para iluminação inteligente. A Figura 3 ilustra alguns tipos de lâmpadas a LED.



Figura 3– Exemplos de lâmpadas LED

3.4 Reatores

Os reatores eletromagnéticos estão sendo substituídos por modelos eletrônicos, que economizam energia e têm menor carga térmica. Uma novidade neste sentido é o reator eletrônico dimerizável, que permite a dimerização das lâmpadas fluorescentes, como mostra a Figura 4. Com ele, é possível integrar luz natural e artificial combinado com sensores que permitem diminuir ou aumentar a intensidade da luz conforme necessidade, configurando diferentes cenários de luz. Porém, sua utilização no Brasil ainda é muito restrita, pois não existe um canal de venda indireto deste produto e seu custo é elevado.



Figura 4 - Reator dimerizável para lâmpadas fluorescentes tubulares

Fonte: OSRAM (2011)

4A COMUNICAÇÃO SEM FIO – PROTOCOLOS

4.1 RFID – Identificação por Radiofrequência

A *Radio Frequency Identification* (RFID) foi criada nos anos 80 pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Pesquisava-se uma forma de utilizar a radiofrequência em aplicações de rastreamento e localização de produtos. Deste estudo, nasceu o Código Eletrônico de Produtos – *Electronic Product Code* (EPC) onde se definiu uma nova arquitetura de identificação para produtos, a RFID. As faixas de frequência que o RFID opera são: baixa (30 a 500 kHz); alta (850 a 950 MHz e 2,4 GHz).

- **Baixa-frequência** – São utilizadas em curtas distâncias de leitura e com baixo custo operacional. Normalmente usadas em controles de acesso, identificação e rastreabilidade de produtos.

- **Alta-frequência** – Utilizadas para leitura em médias e longas distâncias com alta velocidade. Aplicações para leitura em veículos e coleta de dados automática.

4.1.1 Componentes da RFID

Ao todo, podem-se encontrar três componentes da tecnologia RFID: transponder; transceiver; e antena.

4.1.1.1 *Transponder*

Os *transponders* (chamados comumente de *Tags* ou etiquetas inteligentes) podem assumir diversos formatos, como cartões ou argolas e podem ser feitos de plástico, vidro, entre outros. São capazes de armazenar em uma memória interna que será lida por um *transceiver*. Existem três categorias de *Tags*: ativa; passiva; e bateria assistida.

- **Ativa:** Alimentadas, geralmente, por bateria ou pilha interna. São de leitura e escrita (podem ter sua memória interna modificada). Seu custo é maior do que das tags passivas e possuem vida útil limitada de 10 anos, no máximo.
- **Passiva:** Sem bateria, a alimentação é feita pelo próprio leitor através de ondas. As *tags* passivas são mais baratas e, teoricamente, possuem vida útil ilimitada. Geralmente, são do tipo somente leitura, utilizadas para curtas distâncias e necessitam de um leitor com maior potência;
- **Bateria Assistida:** Necessitam de uma fonte externa para comunicação, mas tem alcance significativamente maior.

4.1.1.2 *Transceiver*

O *Transceiver* - ou leitor – a frequência de rádio é emitida para que, se uma *tag* estiver ao alcance destas ondas, o leitor consiga responder ao mesmo com o conteúdo de sua memória. A emissão da rádio frequência pode ser de alguns centímetros ou metros, dependendo somente da saída e da frequência de rádio utilizada.

4.1.1.3 *Antena*

A antena tem como objetivo ativar o *tag*, através de um sinal de rádio emitido pelo leitor, a fim de enviar ou trocar informações.

4.1.2 **Vantagens e Desvantagens**

Algumas vantagens que mais se destacam no RFID são:

- Capacidade de transmissão sem a necessidade de contato físico ou de visualização direta entre os dispositivos;

- Tempo de resposta baixo, o que torna possível obter informações com os dispositivos em movimento;
- Boa durabilidade das etiquetas, com possibilidade de reutilização;
- Já como desvantagens têm-se:
- Custo elevado - apesar de o *chip* ser relativamente barato, a tecnologia engloba também antenas, leitores, ferramentas de filtragem das informações e sistemas de comunicação;
- Uso em materiais metálicos e condutivos pode interferir, negativamente, no seu desempenho.

4.2 Infravermelho (IrDA)

A comunicação de dados, através do infravermelho, surgiu da necessidade que o mercado tinha em obter transmissões com alto desempenho e confiabilidade, o que o fez tornar-se amplamente disponível em computadores pessoais e aparelhos portáteis, como *laptops*, câmeras, *palmtops*, entre outros. Há, em média, 150 empresas envolvidas no processo de desenvolvimento dos padrões de comunicação do *Infrared Data Association* (IrDA).

Algumas outras características que podem ser apontadas em relação ao infravermelho são: baixo custo; curto alcance na transmissão (de um a dois metros, no máximo); multi-plataforma; e ponto-a-ponto, em uma ampla variedade de velocidades.

4.2.1 Características

A camada física da interface infravermelha é constituída de codificador/decodificador; transdutor IR (*driver* de saída); e emissor IR (transmissão). O transceptor emite pacotes de dados sequencialmente (UART) de forma assíncrona, ou seja, a transmissão inicia-se com 1

bit de start, seguido de 1 *Byte* de dados, 1 bit de paridade, encerrando a transferência com 1 bit de parada. A comunicação é feita de forma *half-duplex*, portanto, não permite o envio e recebimento de dados ao mesmo tempo.

Através de canais de entrada/saída seriais, os dados são passados para o transmissor infravermelho, que tem como característica emitir fótons para o dispositivo receptor. O meio de comunicação, a partir da luz, tem como característica representar “0” quando não há flash de luz e “1” quando há, por exemplo. Podem chegar com taxa de transmissão de 9600 bps até 4 Mbps. Todas estas transmissões são feitas numa banda infravermelha entre 850 e 880 micrometros.

O feixe infravermelho é na forma de cone, para que não haja conflito de dados entre outros dispositivos próximos que não façam parte da conexão, e também para que não seja necessário um alinhamento perfeito entre os dispositivos para mantê-la. Porém, existe um ângulo específico de trabalho de 30° nos dispositivos mais antigos, podendo chegar até 130° hoje em dia.

Uma das desvantagens do infravermelho é que não pode haver uma barreira entre o receptor e o transmissor. Devido a este fato, já podem ser encontrados outros dispositivos que superam o infravermelho, seja em velocidade ou alcance. No entanto, esta é uma tecnologia ainda bastante utilizada atualmente, pois é de fácil implementação e baixo custo.

4.2.2 Protocolos

Para o uso desta tecnologia, existem quatro tipos de protocolos que são de uso obrigatório. Embora também existam outros – opcionais - que podem ser aplicados.

Os obrigatórios são:

- *Physical Signaling Layer* (PHY) - especifica as características de comunicação, sendo ela bidirecional, com alcance de 1 a 2 metros, o enquadramento da velocidade (9600 bps – 4 Mbps) e a codificação de dados, sendo eles CRC-16 e CRC-32.

- *Link Access Protocol* (IrLAP) - os serviços definidos por este protocolo são: descobertas de novos dispositivos, explorando no espaço próximo quem está presente e verificando o que pode ser feito, conexões com o dispositivo especificado, verificando o

melhor parâmetro possível de comunicação entre os dois lados, envio de dados; desconexão, e localização de uma nova conexão.

- *Link Management Protocol (IrLMP)* - este protocolo tem a finalidade de multiplexar o sinal entre os clientes; gerenciar os serviços de alto nível, como gerar novos endereços a fim de evitar conflitos, e descoberta dos serviços disponíveis.

- *Information Access Service (IAS)* - este protocolo avalia a capacidade de serviços e aplicações dos dispositivos.

4.3 Zigbee

4.3.1 Características

O Zigbee é um padrão de comunicação sem fio confiável, bidirecional e opera na faixa *Industrial, Scientific and Medical (ISM)* em que não requer nenhuma licença para o seu funcionamento. As frequências utilizadas são: 2,4 GHz (banda ISM global), na Europa 868 MHz e nos Estados Unidos e Austrália 915 MHz. Este padrão é definido por uma aliança de empresas de diferentes segmentos denominada “Zigbee Alliance”, como Texas Instruments, Samsung, Motorola, Cisco, LG, NEC, Epson e Philips.

Uma rede Zigbee pode conter até 255 dispositivos ativos (1 coordenador e 254 dispositivos) e cada coordenador de rede pode se conectar a outros coordenadores visando criar redes maiores.

O protocolo utilizado é o IEEE 802.15.4, que define a camada física de rádio PHY e o Controle de Acesso de Mídia (MAC), enquanto as topologias de rede e camadas de aplicação ficam por conta do Zigbee. Uma das grandes características deste protocolo é a redução de problemas de compatibilidade, pois possibilita a conexão entre diversos dispositivos, mesmo que não sejam do mesmo fabricante.

O objetivo do Zigbee é ser um canal de comunicação sem fio com baixa taxa de transmissão (250 kbps), baixo consumo e tecnologia de controle de rede, oferecendo 26 frequências que podem ser escolhidas onde, após montada a rede, a mesma escolhe o canal de

melhor tráfego e estabelece a comunicação. Assim, o Zigbee tem a aplicação direta em equipamentos utilizados nas automações residencial, predial e industrial. Uma grande rede Zigbee pode ser criada com sensores remotos, controladores de ar condicionado, iluminação, persianas e outros dispositivos.

As principais características do Zigbee são:

- Baixo consumo de energia, baixo custo, e baixa latência;
- Menor taxa de transmissão, se comparado a outras tecnologias – 250 kbps;
- Redes maiores, com até 255 elementos ativos;
- Alcance de até 30 metros (podendo variar até 1,6 km dependendo do módulo utilizado).

A Figura 5 demonstra a taxa de transmissão do Zigbee em relação a outras tecnologias.

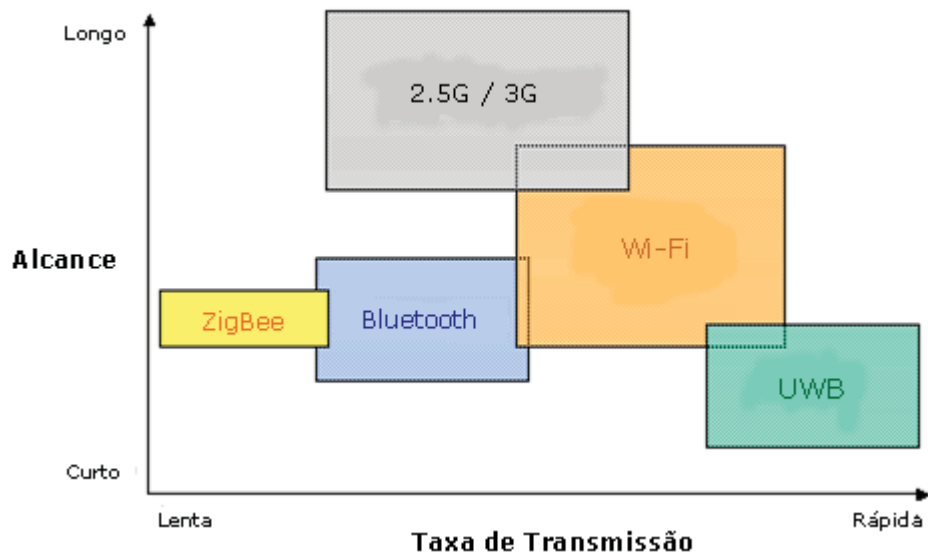


Figura 5 – Comparativo da taxa de transmissão de tecnologias “Wireless”

Devido ao fato do Zigbee possuir uma baixa taxa de transmissão, comparado a outras tecnologias “wireless”, pode ser considerada a melhor solução em relação ao custo *versus* benefício, de acordo com as necessidades de dispositivos de controles e sensores.

Os módulos Zigbee vêm acompanhados de microcontroladores integrados, que geralmente possuem uma memória *flash*, variando entre 60 kB e 256 kB, o que pode dispensar a utilização de um *driver* extra.

Devido ao fato dos dispositivos permanecerem muito tempo sem receber informação, eles podem entrar em modo econômico ou *sleep*, onde passa a gastar somente microamperes e, por terem uma ativação muito rápida (sair do modo *sleep* para o modo ativo) em torno de 30 milissegundos, sua taxa de resposta tende a ser muito boa e seu consumo energético baixo.

Os dispositivos Zigbee possuem a capacidade de descobrir outros, enviando mensagem de pedido de indentificação por *broadcast* e *unicast*. Se o dispositivo for um coordenador ou um roteador, este enviará também todos os endereços dos dispositivos associados a ele.

As aplicações mais comuns utilizadas com o Zigbee são aquelas que utilizam baixas taxas de transmissão de dados e baixo consumo energético, por exemplo:

- Sensores: motores, fumaça, iluminação, nível de água, incêndio, pressão.
- Residencial: comando de luzes; controle de temperatura; segurança.
- Industrial: controle de processo, controle de equipamentos; comunicação entre maquinários; controle de ambiente.
- Comercial: controle de aquecimento, ventilação, segurança, comando de luzes.

4.3.2 Topologias das Redes

Em uma rede Zigbee podem existir dois tipos de dispositivos: FFD e RFD.

- Dispositivo FFD (*Full Function Device*): é um elemento mais completo, pois pode assumir o papel de coordenador, roteador ou de um dispositivo final. Devido a isso, podem se comunicar com qualquer dispositivo da rede. No entanto, dependem de um microcontrolador com, no mínimo, 32 kB de memória para que sejam configurados os parâmetros de configurações e tabelas de rotas. Por estes motivos, seu consumo de energia é maior.
- Dispositivo RFD (*Reduced Function Device*): podendo ser apenas um dispositivo final, possui um protocolo de pilha simples, o que permite a utilização de um *hardware* também simples, como um microcontrolador de 8 bits e 6 kB de memória. Sua desvantagem é que eles só podem se comunicar com dispositivos FFDs.

Como visto anteriormente, existem três tipos de dispositivos: Coordenador, Roteador e dispositivo final (*end device*). A seguir estão suas características:

- **Coordenador:** É o dispositivo mais capacitado do sistema, ele forma o mapa da rede e pode se conectar a outras, dependendo da comunicação necessária. Cada rede pode possuir apenas um coordenador, pois ele é o módulo que inicia a rede e a mantém, reconhecendo todos os nós e distribuindo os endereços. Pode guardar informações sobre a mesma, como chaves de segurança e ações.
- **Roteador:** É um dispositivo que, na prática, pode expandir a rede, sem a necessidade de um coordenador. Funciona como um nó normal na rede, mas com a capacidade de amplificar o sinal.
- **Módulo Final:** Possui a capacidade de conversar apenas com seu coordenador, não conseguindo passar informações a outros módulos. Na prática, é onde ficam os atuadores e sensores. Por ser mais simples e não conversar a todo o momento pode ficar no modo *sleep*, reduzindo seu consumo de energia e podendo utilizar uma simples bateria por anos.

Podemos ter três tipos de topologias de rede: Malha ou ponto-a-ponto (*Mesh*), árvore (*Cluster Tree*) e estrela (*Star*). As características são apresentadas na Figura 6:

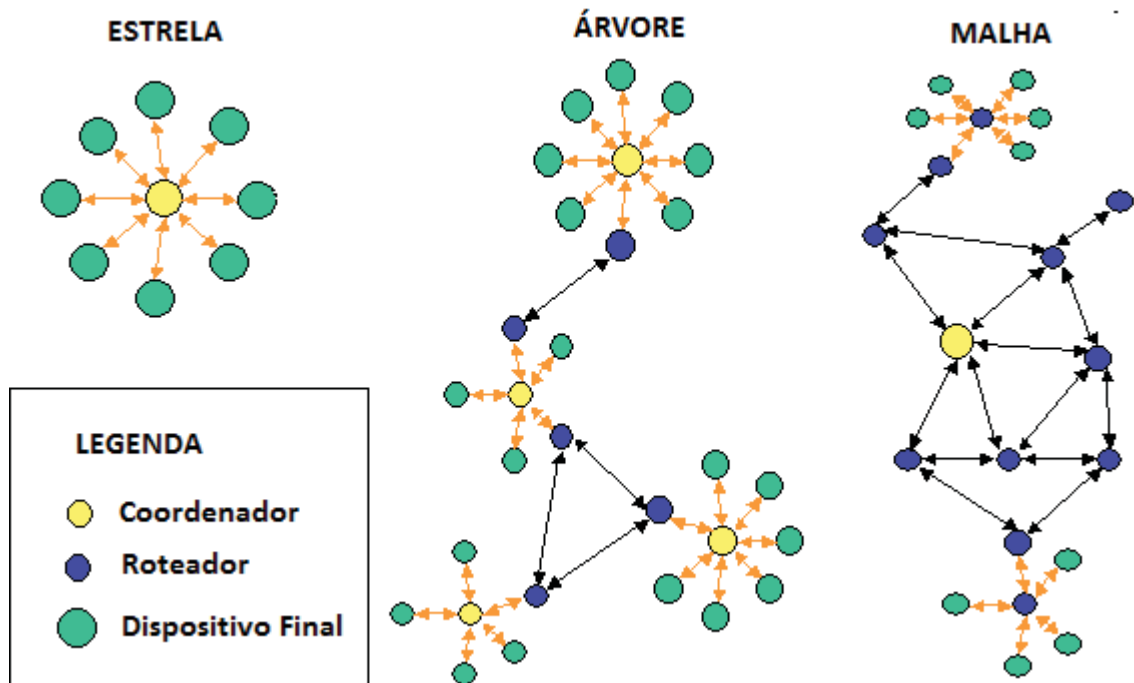


Figura 6 – Topologias Zigbee

Fonte: http://www.teleco.com.br/es/tutoriais/es_tutorialzigbee/pagina_2.asp

- *Mesh* – Nesta topologia, a rede pode se ajustar automaticamente, adicionando e retirando dispositivos, e analisando qual o melhor caminho para cada nó. Todos os dispositivos deste devem ser FFD. Com este tipo de rede, podem-se obter grandes áreas de cobertura, portanto é recomendada para áreas grandes e com obstáculos.

- *Árvore (Cluster Tree)* – Esta topologia é semelhante à *Mesh*, porém tem uma hierarquia maior e o coordenador assume um papel de nó mestre para a troca de informação entre os roteadores e os dispositivos finais.

- *Estrela (Star)* – É a topologia mais simples, requer apenas um coordenador (FFD) para se comunicar a todos os dispositivos finais. Por isso, é recomendado para locais com poucos obstáculos e abertos.

4.3.3 Formação de uma Rede Zigbee

A formação de uma rede Zigbee começa com o coordenador realizando uma busca por canais. Todos os canais encontrados são colocados na memória, por ordem de nível de

energia. Todos os canais com baixo nível são excluídos da lista e em seguida o coordenador realiza uma segunda busca por canais, procurando dispositivos ou redes Zigbee. Após esta busca o coordenador seleciona o melhor canal para a criação da rede, sendo que a melhor escolha é aquela onde não há muitos dispositivos ou tenha poucos deles já atribuídos a este canal. Realizado isto, o coordenador escolhe um número para que todos os dispositivos conectados a ele sejam o mesmo e em seguida libera a conexão para que outros dispositivos ingressem a rede.

4.3.4 Atribuição de Endereços

O coordenador é quem atribui os endereços para a rede, portanto ele pertence ao nível mais alto da estrutura. A rede é definida através de uma série de parâmetros e informações chamadas *stack profile*, entre eles temos as definições de profundidade máxima da rede, o número de roteadores possíveis em uma profundidade e o número máximo de dispositivos finais que poderão se comunicar com algum roteador individual. Portanto, estes parâmetros definem o formato da rede. A atribuição dos endereços está diretamente ligada com estes parâmetros, pois as atribuições formam a árvore lógica da rede e determinam o que será cada um dos dispositivos.

4.3.5 Camadas

4.3.5.1 Camada Física (PHY)

Sendo a camada mais baixa do protocolo, é responsável por codificar e decodificar os *bits* da comunicação. Ela fornece, para a camada seguinte, controle de acesso ao meio (MAC), informações como qualidade e potência do sinal. Também seleciona um canal, dentre todos, para enviar os dados. A técnica de transmissão *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) permite suprir a necessidade de produtos de baixo custo, e garantir altos níveis de integração.

4.3.5.2 Camada de Controle de Acesso ao Meio - *Media Access Control* (MAC)

Logo acima da PHY, está a camada MAC, responsável pelo controle de acesso ao canal de comunicação, evitando possíveis colisões, melhorando a eficiência e garantindo a entrega dos dados. Além disso, constrói e decompõe os pacotes de dados e o protocolo. Foi projetada com o intuito de implementar várias topologias sem muita complexidade e para possibilitar que alguns dispositivos se comportem como RFD, que não necessitam de uma grande memória *flash* nem de grande espaço em memória RAM.

Quando o assunto é a segurança dessa camada, o Zigbee utiliza a própria segurança da camada, os *beacons* e os pacotes de reconhecimento (ACK) que é usado para a confirmação do recebimento bem sucedido de um pacote específico. No entanto, quando são mensagens que precisam de mais de um espaçamento de transmissão, esse trabalho fica como responsabilidade da camada de rede NWK, tratada no próximo tópico.

4.3.5.3 Camada de Rede (NWK)

Tem como intuito permitir que a rede cresça sem a necessidade de transmissores de alta potência, além de poder controlar grande quantidade de nós. Como suas principais funções, estão:

- Iniciar a rede (coordenador);
- Entrar e sair de uma rede;
- Designar endereços de rede;
- Adicionar e remover dispositivos da rede;
- Rotear mensagens;
- Aplicar segurança;
- Implementar a descoberta de rotas para os pacotes;
- Sincronizar com a rede.

As mesmas soluções de segurança utilizadas na camada MAC são também usadas na camada NWK, no entanto, há flexibilidade de especificar qual solução de segurança aplicar em cada pacote em particular, não somente se a solução está ativada ou desativada.

4.3.5.4 Camada de Aplicação (AF)

Consiste das subcamadas: *Application Support (APS)*, da *Zigbee Device Object (ZDO)*, dos objetos de aplicação definidos pelo fabricante *Framework* e, finalmente, da aplicação do usuário.

A APS tem como função principal descobrir novos nós ativos na área de cobertura e pareá-los de acordo com suas necessidades. Já a ZDO, define o papel de cada dispositivo da rede, ou seja, se é coordenador, roteador ou final. Além disso, também define o método de segurança e solicitações de pareamento.

O padrão Zigbee possui uma pilha com requisitos muito simples, que pode ser implementada em microcontroladores de 8 bits. A pilha completa não excede 32 kbytes e a reduzida 6 kbytes. Para evitar colisões durante a transmissão, utiliza-se o acesso múltiplo com verificação de portadora com anulação/prevenção de colisão CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*).

Para começar uma transmissão, um nó envia um sinal de aviso por um pequeno período de tempo, para que todos os componentes o recebam. Só após isso é que os dados são transmitidos. Se um sinal de aviso for detectado durante uma transmissão, o emissor interrompe o envio dos dados, reiniciando a tentativa de transmissão, após certo período de tempo. A Figura 7 mostra as camadas mencionadas.

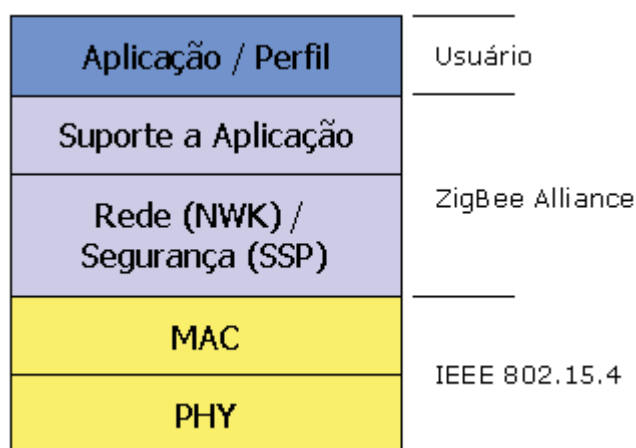


Figura 7 – Camadas do protocolo Zigbee

4.3.6 Segurança

A segurança do Zigbee foi baseada no algoritmo de roteamento *Ad Hoc On-demand Distance Vector (AODV)*, porém de uma forma simplificada. A camada MAC utiliza o padrão *Advanced Encryption Standard (AES)* para criptografia, utilizando uma variedade de rotinas de segurança. Estas rotinas garantem a confiabilidade, integridade e autenticidade das *frames* na camada MAC. Esta camada processa a segurança, mas são as camadas superiores que controlam o processo, ajustam criptografia e determinam os níveis de segurança a serem utilizados.

Quando há transmissão ou recebimento de um *frame* pela camada MAC, o destino é verificado, a chave associada com esse destino é recuperada e então utiliza-se esta para o processo de acordo com que foi designado. Cada chave possui uma única rotina de segurança associada. O cabeçalho de *frame* MAC possui um bit específico para a habilitação da segurança.

4.3.7 Tráfego

O tráfego de dados de uma rede Zigbee pode ser de diferentes tipos e exige atributos diferentes da camada MAC, sendo eles:

- Periódicos – Normalmente utilizados por sensores em que grande parte do tempo permanece em *standby*. O dispositivo é acordado quando necessita enviar informações do sensor para o coordenador do sistema. Assim, ele procura por sinalizações do mesmo e, se possível, sua entrada é solicitada na rede. Se o coordenador inseri-lo na rede, a informação é enviada e em seguida ele volta a ficar em *standby*;
- Intermitentes – Um interruptor pode ser um exemplo para este tipo de camada MAC. A transmissão de dados é feita somente quando necessária, então, somente nestes momentos o dispositivo se juntará à rede, economizando energia;
- Repetitivos de baixa latência - Alocações *time slot* são utilizadas como sistema de segurança. Existe a possibilidade da utilização de um método que permite que cada

dispositivo possua uma duração de tempo definida pelo coordenador, sendo esta propriedade feita através da utilização de *Guarantee Time Slots* (GTS), que é um método de qualidade do serviço (*QoS – Quality of Service*).

4.3.8 Comunicação

O Zigbee pode se comunicar com dois tipos de operação diferentes, o modo transparente e o modo API (*Application Programming Interface*). O Zigbee recebe os dados da UART pelo pino DI (RX) e são colocados em um *buffer* de espera até serem transmitidos pelo pino DO (TX). No modo transparente essa comunicação funciona na mesma forma que a comunicação serial RS232 padrão. O modo de comunicação serial é apresentado no item 5.2.

O modo API é uma alternativa melhorada do modo de transparência, pois é baseado em pacotes e assim utiliza uma maior capacidade dos módulos Zigbee, oferecendo algumas melhorias como:

- Transmitir dados para múltiplos destinos sem entrar em modo de comandos;
- Identifica o endereço fonte de cada pacote recebido;
- Verifica se o pacote chegou com sucesso ou falha devido a utilização de um código verificador.

Com estas melhorias tem-se um aumento significativo na confiabilidade do sistema, utilizando-se assim todos os benefícios da tecnologia Zigbee.

Os dados no modo API estão contidos dentro dos pacotes, e estes pacotes contem várias informações de comando, RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), pra quem, de quem são os dados a enviar e outros. A estrutura de um pacote no modo API é apresentada na figura 8.

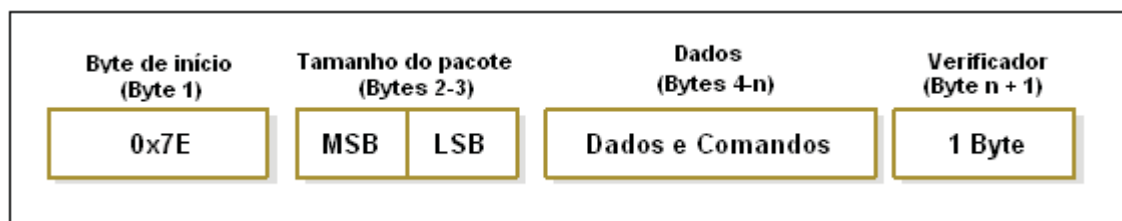


Figura 8 - Estrutura do Frame de dados no modo API

O byte de início, como o próprio nome diz, inicia o pacote no modo API, sendo que todos os dados antes deste iniciador são descartados. O tamanho do pacote é enviado por dois bytes, sendo que a contagem inicia após o tamanho do pacote e termina no último byte dos dados, não contando o byte verificador. O verificador, chamado comumente de *checksum*, verifica se o pacote foi enviado corretamente, caso haja alguma falha, o pacote é descartado e é enviado um pacote de status dizendo o motivo da falha. O verificador é calculado somando-se todos os dados, e após isto diminui-se 0xFF do byte menos significativo do resultado da soma.

Dentro dos dados têm-se bytes de comandos, informando qual é o propósito do pacote, o endereço para qual módulo Zigbee está destinado e a mensagem em si.

Uma característica importante é que nem todos os módulos Zigbee precisam estar necessariamente trabalhando no mesmo modo, ou seja, o coordenador do sistema pode estar configurado em modo API e os módulos finais podem estar no modo transparente, por exemplo. Porém ao se enviar um dado no modo transparente, por exemplo, 1 byte, o módulo que estiver em modo API receberá este dado, se for o destinatário, e o transformará em um pacote, e o mesmo acontece em vice versa.

4.3.9 *Software e Hardware*

Junto aos módulos Zigbee, foi projetado um *software* para que o desenvolvimento de transmissão seja otimizado para alcançar baixos custos e elevados volumes de produção. O *software* pode ser executado em processadores e microcontroladores de baixo custo e níveis básicos de processamento.

No quesito *hardware*, o módulo Zigbee é muito simples, porém, existem processos de certificação completos, onde se pode fazer uma validação total das exigências de nível físico. Todos os módulos devem ser fabricados a partir da mesma máscara de microcontrolador e utilizar as mesmas características de radiofrequência. Por este motivo, os módulos podem trabalhar com margem muito estreita de consumo. Se um módulo tiver um nível físico mal controlado pode prejudicar não só o próprio dispositivo, mas também o consumo de energia de todos os outros dispositivos da rede. Para reduzir estes problemas, os fabricantes, em sua maioria, integram o módulo Zigbee com um microcontrolador num único chip.

4.3.10 Perspectiva Futura

A perspectiva para o futuro é que os módulos Zigbee sejam os mais baratos e acessíveis do mercado. Contendo antena integrada, bateria pequena e controle da frequência, será uma oferta muito econômica e versátil, além de ser fabricado com a menor quantidade de circuitos analógicos possível.

As redes sem fio atuais são adequadas para o uso ao ar livre ou em ambientes fechados como: casas, hotéis, universidades e armazéns, porém, são limitadas em infraestrutura ou tem altos custos de investimento para sua implementação de controle cotidiano.

As redes sem fio com padrão IEEE 802.11, por exemplo, ainda tem suas capacidades restritas para utilizadores de rede e de sistemas de automação. A tecnologia do Zigbee surgiu no mercado com a finalidade de acabar com estas barreiras, pois possibilita a integração da tecnologia sem fio com os sistemas de controle simples.

Cada vez mais as pessoas tendem ao uso de novas tecnologias, e o módulo Zigbee parece ter características para atender as necessidades e desejos destes consumidores. O modelo do Zigbee baseia-se no envio de baixas taxas de dados (10 até 250 kbps) e por ter um baixo consumo de energia. Por esse motivo, pode ser utilizado para o envio de leitura de sensores e controle de aparelhos simples, onde não é necessária alta banda de dados. Portanto, o Zigbee consegue cumprir diversos tipos de aplicações oferecendo baixo custo e consumo de energia além de robustez.

4.4 Bluetooth

O Bluetooth é um protocolo de radiofrequência destinado às comunicações de curto alcance e baixo consumo, sendo também barato e seguro. Normalmente, é utilizado por impressoras, mouses, teclados, celulares, notebooks, entre outros, que buscam substituir cabos de conexão.

O sistema foi homologado pelo IEEE através da norma 802.15.1. Esta define as especificações da camada física (PHY) e da subcamada de controle de acesso ao meio (MAC) para conexões entre dispositivos fixos, portáteis e móveis com um alcance de aproximadamente 10 metros.

4.4.1 Histórico

O Bluetooth começou a ser desenvolvido em meados de 1994, pela Ericsson. Seu nome é uma homenagem ao rei dinamarquês chamado Harald Bluetooth, que unificou a Dinamarca e a Noruega no século X. Da mesma forma, o protocolo procura unir diferentes tecnologias, como celulares e computadores.

A Ericsson estudava mecanismos de comunicação em redes de telefones celulares, que resultou em um sistema de rádio de curto alcance, recebendo o nome de MCLink. Pelo fato do sistema ser de fácil implementação e barato, percebeu-se que o sistema daria certo. Então, a partir de 1998, a Ericsson uniu-se a outras empresas como Nokia, Intel, Toshiba e IBM. O grupo era composto por dois gigantes da telecomunicação, dois fabricantes de PCs e a líder no desenvolvimento de *chips* e processadores. Juntos, criaram o consórcio Bluetooth SIG (*Special Interest Group*), com o objetivo de desenvolver um padrão aberto de comunicação sem fios, onde a interoperabilidade com os mais variados dispositivos fosse seu ponto principal.

O fato de ser um padrão aberto garantiu seu imediato sucesso e em pouco tempo o SIG já possuía mais de 2000 novos membros. Outro ponto forte do Bluetooth é o uso livre da tecnologia, pois não é necessário o pagamento de taxas ou direitos autorais.

4.4.2 Características

O Bluetooth opera na faixa de frequência ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de 2,4 GHz, que pode ser usada livremente por qualquer entidade, pois não precisa ser regularizada pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), por exemplo, no Brasil.

Por ser uma faixa livre e, conseqüentemente, possuir muito ruído, para haver transmissão de dados é utilizada uma técnica de espalhamento de espectro por saltos em frequência, *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS). A banda é dividida em canais independentes e realiza o chaveamento da frequência de transmissão dos dados ao longo do tempo, podendo chegar a até 1600 vezes por segundo. Por este motivo, podem-se diminuir os efeitos causados por sinais externos que causam interferência, bem como eliminar o problema de atenuação do sinal por múltiplos caminhos, tornando-se uma transmissão mais robusta.

Esta técnica de saltos de frequências, além de diminuir interferência, aumenta o nível de segurança da rede, porém não as impede. Assim, foram acrescentados à tecnologia três níveis de segurança, sendo:

- Sem segurança (*Non-Secure*) – A transmissão de dados é feita sem nenhum tipo de segurança;
- Segurança estabelecida no nível do serviço (*Service-Level Enforced Security*) – O dispositivo inicia os procedimentos de segurança, depois de estabelecida a conexão;
- Segurança estabelecida no nível de *link* (*Link-Level Enforced Security*) – É o modo mais seguro, pois os procedimentos de segurança são iniciados antes de estabelecer uma conexão. Estes procedimentos de segurança incluem chaves de códigos, autenticação dos dispositivos e criptografia de dados transmitidos.

A faixa de operação do Bluetooth vai de 2.402 MHz até 2.480 MHz, sendo que os primeiros 2 MHz e os 3,5 MHz finais atuam como guarda de banda. Os outros 79 MHz dividem-se em 79 canais de faixa 1 MHz cada. A velocidade de transmissão é relativamente baixa, atingindo no máximo valores de 1 Mbps na versão 1.2, e chegando em 3 Mbps na versão 2.0.

Existem três classes de dispositivos, cada uma com um alcance específico, são elas:

- Classe 1: potência de 100mW, alcance de 100m;
- Classe 2: potência de 2,5mW, alcance de 10 m;
- Classe 3: potência de 1mW, alcance de 1m.

Dispositivos de classes diferentes podem se comunicar entre si, porém cada um com sua limitação de alcance. Dispositivos da classe 3 podem se comunicar com outro dispositivo se a distância entre eles for, no máximo, 1 metro. Apesar de ser relativamente pequena, normalmente é suficiente, quando pensamos em um *notebook* conectado com um celular ou um mouse.

4.4.3 Redes Bluetooth

Os dispositivos Bluetooth criam automaticamente conexões independentes entre outros dispositivos, portanto não é necessária a intervenção de um usuário para configurar a rede. Quando há mais de um dispositivo se comunicando através de uma conexão Bluetooth, eles formam uma rede chamada Piconet. A Piconet pode formar uma rede de, no máximo, oito dispositivos, porém pode-se aumentar esse número fazendo uma sobreposição de Piconets. Isso significa que pode haver uma Piconet se comunicando com outra Piconet dentro de um limite de alcance. Esta rede maior tem o nome de Scatternets.

Quando um dispositivo começa a comunicação com outros, ele recebe o nome *master* (mestre), enquanto os outros se tornam *slave* (escravo). O *master* tem, como função, gerenciar a rede, regulando a transmissão de dados e garantindo o sincronismo entre os dispositivos. A Figura 9 ilustra uma rede Bluetooth composta por um *notebook Master* e seis *slaves*. Já a Figura 10 mostra as configurações de uma rede Bluetooth.

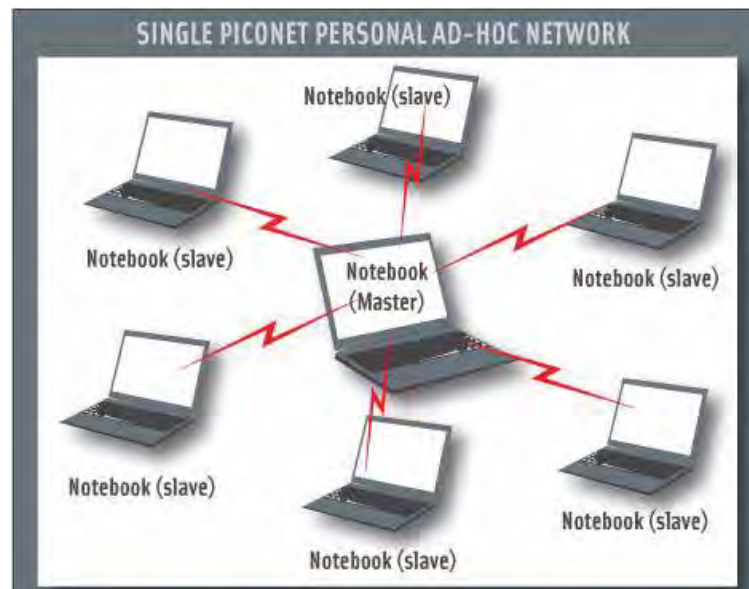


Figura 9 – Exemplo de rede bluetooth

Fonte: <<https://www.bluetooth.org/Building/HowTechnologyWorks/ProfilesAndProtocols/PAN.htm>>

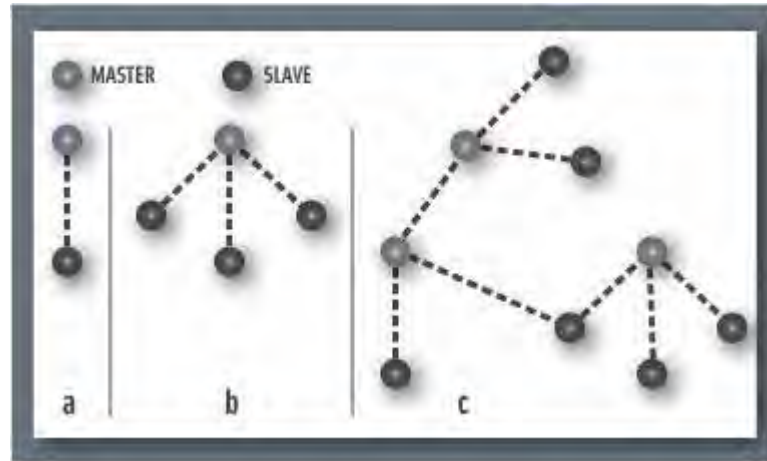


Figura 10 – Piconets, (a) Única operação slave, (b) Operação multi-slave, (c) Operação scatternet
 Fonte: <<https://www.bluetooth.org/Building/HowTechnologyWorks/Architecture/Baseband.htm>>

Para que uma rede Piconet seja formada, é necessário que os dispositivos saibam quais dispositivos estão nesta mesma rede, fazendo o uso de um esquema de identificação. Se um dispositivo deseja se conectar a essa rede já existente, ele deve emitir um sinal denominado *Inquiry*. Os dispositivos que recebem esse sinal, respondem com um pacote *Frequency Hopping Synchronization* (FHS), informando dados de sincronismo e identificação. Com estas informações, o dispositivo pode emitir um sinal chamado *Page*, e então estabelecer sua conexão aos demais.

Para que haja uma economia de energia, os dispositivos Bluetooth podem ficar em *standby* se estiverem ociosos, sendo que para que isto ocorra eles recebem um sinal chamado *Scan*. Entretanto, os dispositivos são obrigados a acordar de tempos em tempos para checar se há outros aparelhos tentando estabelecer conexão.

4.5 Bluetooth Vs Zigbee

Entre os diversos tipos de tecnologias no mercado de automação residencial, Bluetooth e Zigbee se destacam. Em contrapartida, cada um possui suas características próprias. O Bluetooth é mais apropriado para aplicações como:

- Sincronização de PCs, telefones celulares e *Personal Digital Assistants* (PDAs);
- Aplicações de áudio como fone sem fio;

- Transferência de arquivos entre PDAs, PCs e Impressoras.

Enquanto Zigbee tem melhor desempenho em aplicações:

- De Controle;
- Rede de Sensores;
- Redes com muitos dispositivos;
- Com pequenos pacotes de dados;
- Onde consumo de bateria é crítico.

A tabela 1 mostra uma comparação entre o Zigbee e o Bluetooth.

Tabela 1 - Comparação entre Zigbee e Bluetooth

		ZIGBEE	BLUETOOTH
APLICAÇÃO		Redes de sensores, automação	Substituição de cabos
MODULAÇÃO		DSSS	FHSS
FREQUÊNCIA		2,4 GHz	2,4 GHz
TAXA DE TRANSMISSÃO		> 250 kbps	1 Mbps até 3 Mbps
ALCANCE (M)		30 até 1600	1 até 100
CONSUMO (MA)		45 até 215	1 até 100
CONSUMO EM STAND-BY (UA)		< 10	200
CUSTO ESTIMADO		Baixo	Baixo
VIDA ÚTIL DE BATERIAS		> 1000 dias	5 dias

Fonte: <<http://www.del.ufs.br/~levi/TEEE/ZigBee.pdf>>

5 TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS

A transmissão de dados ocorre, basicamente, entre um transmissor e um receptor. O primeiro gera a informação e o outro a recebe. Essa informação é passada através de sinais analógicos (sinais elétricos variam entre todos os valores possíveis) ou digitais (sinais possuem apenas dois estados: desligado e ligado). Também é necessário saber que a topologia de rede local pode influenciar diretamente na quantidade de receptores e transmissores que podem receber e enviar informação, respectivamente.

5.1 Interfaces Paralelas

Uma dos primeiros pontos que se destacam neste tipo de interface é o custo considerado um pouco elevado, já que o cabeamento é relativamente caro. Além disso, os sinais de dados e controles tem que trafegar em um mesmo cabo, o que faz com que múltiplos caminhos de sinal reajam uns com os outros, causando um problema popularmente conhecido como “linha cruzada”. Outra desvantagem é que há grande risco de perda de sinal, devido ao fato do cabo ser muito longo. Apesar de existir conexões de até 15 metros, recomendam-se, no máximo, três metros, para maior segurança. Se for necessário um cabeamento maior, sugere-se o uso das conexões seriais. Em sua transmissão, todos os bits (oito), um em cada fio diferente que, dentro de um único cabo, são enviados simultaneamente. A taxa de transferência pode chegar até 1 Mb/s

As interfaces paralelas são comumente aplicadas em impressoras e *scanners* e o fluxo de dados, inicialmente, ocorria apenas do PC para a impressora. No entanto, podem-se encontrar algumas exceções a regra e, devido a elas, atualmente, os PC's são equipados com portas paralelas que permitem tanto o recebimento quanto o envio de dados. Com relação à sua velocidade de transmissão e corrente de saída em portas paralelas, pode-se observar que não é considerada alta o suficiente para acender apenas o LED. Caso seja preciso mais potência na saída das portas, é necessário acrescentar *buffers* ou amplificadores.

As interfaces utilizadas podem ser de instrumentos (GPIB - *General Purpose Interface Bus*), que especifica um barramento paralelo no qual um computador e mais no máximo, 15 instrumentos são conectados através de um cabo flexível de até 32 m; e porta paralela padrão *centronics* – conectando-se ao restante do sistema através de três portas de entrada e saída

(I/O); normalmente utilizada com um conector DB-25; velocidade de 150 kbps e uma distância de 3m, aproximadamente.

A Figura 11 mostra os pinos dos conectores DB25 de uma porta de um PC e de uma impressora.

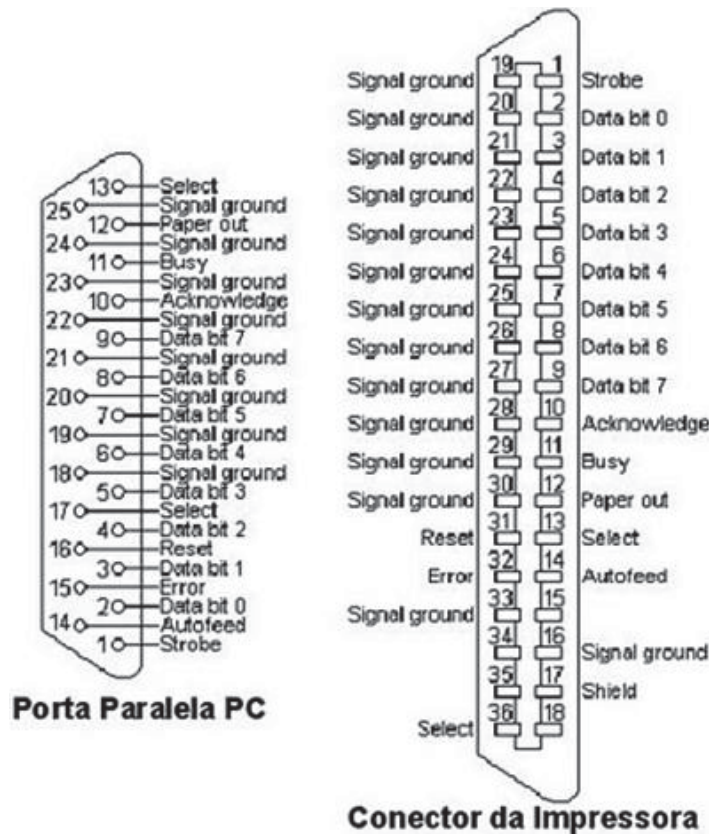


Figura 11 – Pinos da interface paralela

5.2 Interfaces Seriais

A definição mais básica deste tipo de comunicação é que os bits de comunicação são quebrados e transmitidos em sequência através de um canal, sistema assíncrono, e ao chegarem no destino é que serão reagrupados formando, assim, a mensagem original.

Para que não haja nenhuma falha neste tipo de processo, é necessário estar atento ao sincronismo do receptor, ou seja, ele precisa conhecer exatamente onde começa e onde termina cada bit, reconhecendo os intervalos entre um e outro. Quando o processo irá começar (*start bit*) é enviado um sinal ao receptor e ele entende que serão necessários pulsos de *clocks*, o pacote de dados apresenta um nível lógico igual a “0”, e a partir daí são 8 bits transmitidos

sequencialmente em uma taxa de transferência específica até o “*stop bit*”, com os bits de paridade e de parada. Neste caso, o tamanho do pacote de dados deve ser relativamente pequeno, para diminuir a probabilidade de falha na comunicação, e quando precisa ser maior, é começada uma nova transmissão a partir do *start bit*, que é resetado. A Figura 12 mostra a sequencia de bits de uma transmissão serial e seu significado.

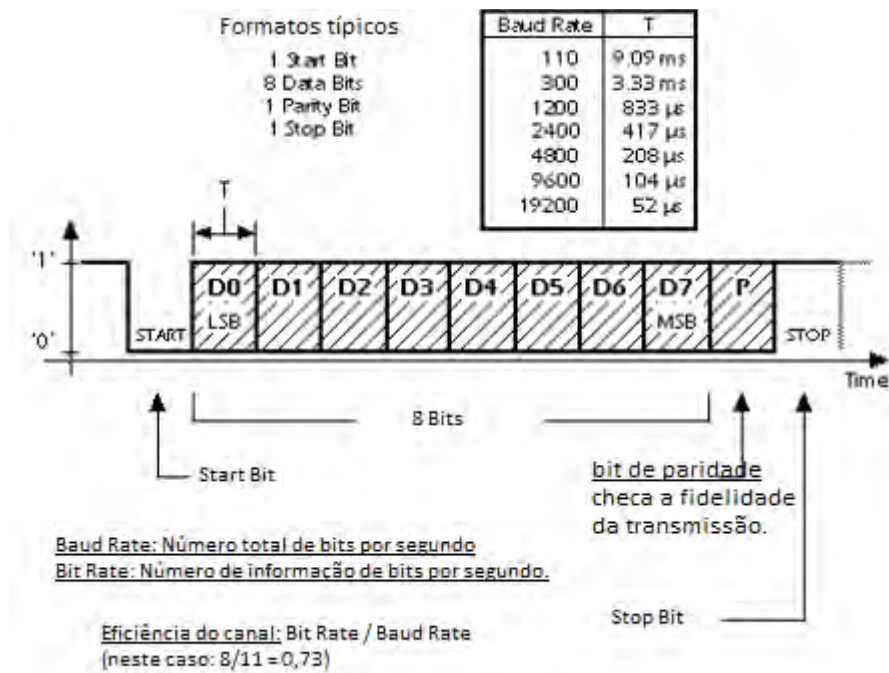


Figura 12 – Sequência de bits de uma transmissão serial

Cada canal transmite um bit por vez e é mais prático e econômico do que a transmissão por canais paralelos, pois nestes, como visto anteriormente, são necessários oito canais diferentes, o que significa um custo, pelo menos, oito vezes mais alto.

As interfaces seriais são divididas em diferentes normas, que são padronizações de interfaces comuns para a comunicação entre equipamentos. Todas elas apresentam em seus nomes a sigla RS (*Recommended Standard*).

5.2.1 Norma RS232

Essa norma existe há pelo menos 30 anos e teve seu nome modificado para EIA232, devido a algumas modificações realizadas pela *Electronic Industries Association* (EIA), nas quais algumas linhas de sinais foram adicionadas e outras alteradas.

Como suas principais características pode-se dizer que o padrão RS232 especifica tensões, temporizações e funções dos sinais, também um protocolo para a troca de informações e as conexões mecânicas.

No entanto há alguns pontos negativos em relação à RS232, que dificulta a utilização desta por meio dos usuários, como o fato de se houver qualquer tipo de abuso quanto à conexão de sinais de controle como um erro ou ausência do mesmo, pode acarretar um estouro do *buffer*, conhecido como *overflow* ou travamento da comunicação, ou ainda, se houver uma função incorreta de comunicação para o cabo em uso, as linhas de transmissão e recepção ou linhas de controle podem ser invertidas.

A taxa de transferência, ou seja, a velocidade com que os dados são transmitidos em um canal é a mesma que a taxa de bit (*bit rate*), neste caso. Portanto, uma taxa de transferência igual a 9600 bauds é equivalente a 9600 dados por segundo. Quanto maior a quantidade de dados transmitida por segundo, maior a eficiência do canal de comunicação. No caso da norma EIA232, a taxa de transferência é, no mínimo, de 20.000 bits por segundo e os valores em Bauds podem ser: 300, 1200, 2400, 4800, 9600 e 19200 bps.

O processamento de sinais é feito pelo computador ou terminal (*Data Terminal Equipment* – DTE), com um conector macho DB25, utilizando 22 dos 25 pinos disponíveis. Para que haja a conexão entre este DTE e, geralmente, um modem (*Data Circuit-terminating Equipment* – DCE), que tem um conector DB25 fêmea (utilizando os mesmos 22 pinos), tem-se um cabo com conexões em ambos os lados, são os cabos de interface. No entanto, nem sempre é possível identificar quem é o DTE e quem é o DCE, ocasionando mudanças entre os sinais, como os de comunicação *transmit data* e *receive data*.

A Figura 13 mostra os tipos de conectores comumente utilizados neste tipo de norma, DB9 e DB25, respectivamente.

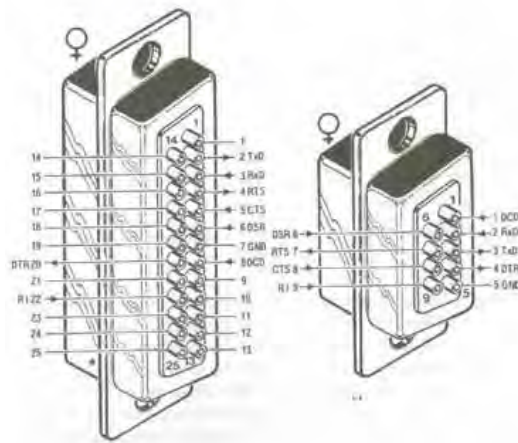


Figura 13 – Pinos do padrão serial RS232

Fonte: <<http://www2.eletronica.org/artigos/eletronica-digital/padrao-serial-rs-232>>

Os sinais da Norma EIA232, normalmente relevantes quando se trata de modems, são divididos em:

- Sinais de terra (*Shield* - malha de aterramento do cabo ou a carcaça do conector, sendo considerado um sinal de proteção) e *Ground* – GND (referência para os outros sinais);
- Canais de comunicação (*Transmitted Data* - Ativo quando ocorre à transmissão do DTE para o DCE, permanecendo na condição de marca nível lógico igual a “1” quando nenhum dado está sendo transmitido, tensão negativa), *Received Data* (Ativo quando o DTE recebe os dados do DCE, e quando este está em repouso, fica em tensão negativa na condição de marca) , *Request To Send* – RTS (habilitação dos circuitos de recepção ou seleção da direção do canal em aplicações *half-duplex*, habilitado no nível lógico “0”, e quando o DCE estiver pronto para receber os dados, um sinal é emitido ao DTE) e *Clear To Send* – CTS (também habilitado no nível lógico “0” pelo DCE para informar ao DTE que a transmissão pode começar);
- Canais de comunicação secundários (esquivalentes aos sinais de comunicação Tx/D, Rx/D, RTS e CTS, porém válidos para os canais secundários);
- Sinais de Controle e de Status de Modem (*Data Set Ready* (DSR) (habilitado no nível lógico “0”, quando o modem estiver conectado a uma linha telefônica ativa e fora do gancho, ou quando estiver no modo dados, ou ainda quando o modem tiver completado uma discagem

e obteve um tom de resposta, qualquer falha detectada o DSR é desativado a nível lógico “1”), *Data Terminal Ready* (habilitado no nível lógico “0” pelo DTE quando for necessário abrir o canal de comunicação quando este for desativado, muda para o nível lógico “1”, no qual o modem muda para a condição “no gancho” e a operação é encerrada), *Received Line Signal Detector* (CD), habilitado ao nível lógico “0”, quando a linha telefônica está “fora do gancho”, uma conexão for estabelecida, e um tom de resposta começar a ser recebido do modem remoto. Este sinal é desabilitado a nível lógico “1” quando não houver tom de resposta sendo recebido, ou quando o tom de resposta for de qualidade inadequada para o modem local), *Secondary Received Line Signal Detector* - SCD (referente ao canal de comunicação secundário, corresponde ao CD), *Ring Indicator* – RI (habilitado a nível lógico “0”, com duração aproximada ao tom de discagem e desabilitado entre os tons ou quando não houve sinal de discagem presente), *Data Signal Rate Selector* (originado tanto do DTE quanto do DCE, seleciona um entre dois *baud rates* pré-configurados));

- Sinais de transmissão e recepção de tempos (*Transmitter Signal Element Timing* – TC (se o DCE é um modem e opera como um protocolo síncrono, gera o sinal de clock para controlar a taxa de transferência de dados pelo pino TxD do DTE para o DCE), *Receiver Signal Element Timing* – RC (fornece informação de temporização para o receptor), *Transmitter Signal Element Timing* – ETC (sinais de temporização transmitidos externamente pelo DTE para que possa ser utilizado pelo modem));
- Sinais de Teste do Canal de Comunicação - *Local Loopback* – LL (utilizado, principalmente, para colocar o modem local em estado de teste, pelo DTE), *Remote Loopback* – RL (também gerado pelo DTE, utilizado para colocar o modem remoto em estado de teste), *Test Mode* – TM (Se o DCE for um modem, este sinal é habilitado em nível lógico “0” e indica que o modem está em condição de teste local (LL) ou remoto (RL)).

Uma observação importante para essa Norma é que se forem adicionados LEDs ou circuitos de teste para verificar a condição dos sinais, o nível de tensão cairá significativamente e um ponto positivo é que há grande imunidade a ruídos.

5.2.2 Norma RS422

Assim como a norma RS232, que atualmente pode ser chamada de EIA232, esta também pode ser denominada EIA422. Possibilita a conexão de um dispositivo a no máximo 10 receptores. O transmissor aqui é reconhecido como mestre, enquanto o receptor é o escravo e a comunicação ocorre nos dois sentidos, sendo dividido em dois pares trançados, o primeiro do mestre para o escravo e o segundo no sentido contrário, isso significa que pode haver transmissão e recepção simultânea, caracterizando RS422 como *full-duplex*.

Um dos grandes diferenciais desta norma é o seu meio de comunicação, denominado balanceado. O balanceamento é característico tanto da norma RS422 quanto da RS485. Os circuitos transmissores utilizam a diferença de tensão entre os condutores de par traçado. Cada código binário é identificado pelo tipo de polaridade, ou seja, positiva ou negativa da diferença de tensão do par. Quando a tensão do condutor positivo for maior que a tensão do condutor negativo, é caracterizado o nível lógico “1”, quando o contrário, tensão do condutor negativo for maior que do condutor positivo, caracterizamos por nível lógico “0”. Para que o sistema seja mais tolerante a interferências temos uma margem de ruído de mais ou menos 0,2 V.

A norma TIA/EIA-485 especifica que a máxima diferença de potencial entre os equipamentos da rede deve ser entre -7 V e +12 V, porém a norma TIA/EIA-422 especifica que os limites devem ser -7 V e +7 V. Para diminuir problemas no balanceamento, a utilização de aterramento nos dispositivos pode ajudar, porém não soluciona todos os problemas, pois em um campo industrial, temos locais muito afastados e pode haver diferentes tipos de referencial de aterramento. Uma melhor solução é adotar um condutor comum (terra) em todos os dispositivos da rede.

5.2.3 Norma RS485

Mais recomendado quando são necessárias comunicações com longas distâncias. Essa norma é uma evolução da RS422. Utiliza *driver tri-state* e é usada em aplicações nas quais um computador controla diversos dispositivos. Pode se comunicar com até 32 “unidades de carga”, se considerar que cada dispositivo (receptor/transmissor) representa uma unidade, no

entanto, há a possibilidade de um dispositivo consumir apenas uma fração de unidade, o que aumentaria, conseqüentemente, a capacidade.

Ao contrário do RS422, o meio físico mais utilizado é um par trançado, no qual ocorre a transmissão e recepção de dados. A rede aqui é caracterizada como *half-duplex*, por um intervalo de tempo específico apenas um dispositivo pode transmitir dados, os outros ficam desligados enquanto isso acontece. No entanto, a norma EIA485 também pode operar no modo *full-duplex*, sendo compatível com o RS422.

Na ligação de uma rede, seja ela *half-duplex* ou *full-duplex*, o terminal comum deve ser interligado aos terminais correspondentes de cada dispositivo, de forma a garantir o equilíbrio de tensão entre eles. Caso o condutor comum não seja instalado entre todos os dispositivos, todos devem ser adequadamente aterrados segundo as recomendações do fabricante de cada equipamento da rede. Esta exigência resulta na utilização de um terceiro fio, que apesar de não participar do processo de comunicação, é essencial para garantir a integridade elétrica dos equipamentos da rede. É utilizada geralmente em equipamentos com comunicação serial por barramento, pois este apresenta grandes vantagens em ambientes industriais. A topologia mais recomendada é a *daisy chain*, onde todos os dispositivos são conectados diretamente aos condutores de linha, pois é mais fácil para controlar os efeitos de linhas de transmissão.

Tanto a Norma RS422 quanto a RS485 permitem um cabo de comunicação de, aproximadamente, 1200 metros. Com relação à taxa de transmissão (bps), teoricamente, quanto mais longo for o cabo, menor deve ser a velocidade de comunicação. O desempenho varia de acordo com tipo de cabo, terminações, topologia da rede, qualidade dos dispositivos e interferências do ambiente.

5.2.4 Norma RS449

Interfaces funcionais para troca de dados serial binária, utilizadas normalmente com transmissões síncronas. A RS449 foi criada originalmente para substituir a RS232C, porém as duas têm especificações completamente diferentes, sendo incompatíveis.

5.2.5. Norma RS530

Interface que complementa a RS232C e substitui a RS449. Foi baseada em uma conexão de 25 pinos e trabalha em conjunto com a interface RS422 ou RS423 (circuitos elétricos balanceados e desbalanceados).

Utilizando o mesmo conector da RS232C, a RS530 consegue alcançar taxas de dados mais elevadas, mas as duas interfaces não são compatíveis. Suas taxas de transmissão são de até 2 Mbps, e sua distância máxima varia dependendo da interface elétrica utilizada.

5.3 Interface USB

O *Universal Serial Bus* (USB) surgiu de uma parceria entre renomadas empresas do setor, como Compaq e Microsoft, por exemplo, que foi chamada de *USB implementers forum*. O sistema USB é composto por controlador Host USB, normalmente um computador, que se comunica com os dispositivos através de seu controlador, que pode ser encontrado na própria placa mãe do computador ou ser iniciado por um dos *slots* do barramento *Peripheral Component Interconnect* (PCI). Ele detecta a inclusão e remoção dos dispositivos; fornece alimentação para estes dispositivos; monitora os sinais do USB; e gerencia o fluxo de controle de dados entre os dispositivos conectados, por dispositivos USB – Função, ou HUB. O primeiro recebe e fornece informação através do barramento, por exemplo, mouse, teclado e impressora, responsável também por indicar qual velocidade irá operar e também por interconexões.

Com relação à estrutura do cabo USB, ele é composto por uma malha, responsável pela eliminação de ruídos e quatro fios (VBus, D+, D- e GND), diferenciados por cores. O primeiro, que fornece a alimentação necessária para cada dispositivo é o vermelho – Vbus +5 V. Enquanto o último, GND (0 V), é caracterizado por ser o pino negativo de energia do *Bus*, na cor preta. Os outros D+ (Dado +), verde, e D- (Dado-), branco, que são entrelaçados e são responsáveis pela transferência de dados entre o *Host*, HUB e dispositivos. Os dados são transmitidos através de diferenças de tensão entre eles, e todos os sinais trafegam apenas por esses dois fios usando a codificação NRZI (*No Return to Zero Inverted*). O *Bus* pode fornecer, no máximo, 5 Volts de tensão e 500 mA de corrente elétrica para cada porta.

Há dois tipos de conectores USB, classificados como série A e B, subdivididos em “fêmea” e “macho”. O primeiro, série “A” “fêmea”, localiza-se no *host* (PC) ou em portas downstream do HUB, enquanto o série “A” “macho” se encontra em uma das extremidades do cabo USB, onde será conectado o *host* ou a porta *downstream*, que é aquele que conecta dispositivos USB ao computador. O conector série “B” “fêmea” é encontrado no dispositivo cliente, ou seja, nas impressoras, máquinas ou modem, e o conector série “B” “macho”, encontra-se em uma das extremidades do USB e será conectado ao dispositivo/função.

Para que ocorra a comunicação entre o dispositivo e o Host, se tem que atentar para os protocolos USB, que tem como recursos o CRC (*Cyclic Redundancy Check*), detecção e correção de erros, detecção de conexão e remoção de dispositivos, controle de fluxo de dados assegurando transmissões isossíncronas (tráfego contínuo de dados), disponibilidade assegurada de largura de banda, entre outros.

Com relação à transmissão de dados, essa é feita através do envio de pacotes, começando pelo Controlador Host que envia o primeiro (*Token Packet*), com informações de direção e tipo de transmissão, bem como o endereço do dispositivo USB e o referido número *endpoint*. O dispositivo USB decodifica a informação e, a seguir, a fonte de transmissão envia um pacote de dados (*Data Packet*), o destino responde com um pacote (*Handshake Handshake Packet*) que indicará se a operação obteve sucesso.

A principal característica que tornou o USB tão popular nos dias de hoje é que, através desse tipo de tecnologia a conexão de novos equipamentos ao computador, televisores ou aparelhos de som, por exemplo, transformou-se em algo muito mais simples e rápido. Não há mais necessidade de inúmeros cabos conectados ao computador ou problemas como falta de compatibilidade, já que há uma padronização quando se fala em interface USB, todos os dispositivos, que possuem essa tecnologia, apresentam conectores semelhantes, facilitando a conexão entre aparelhos.

Outro ponto a ser destacado é que através da tecnologia *Plug and Play*, encontrada em USB's, não há mais a necessidade de reinicialização da máquina após desconectar o dispositivo USB e a instalação de *drives* ou *softwares*, quando requisitado, pode ser feito imediatamente, sem mais complicações. A conexão dos aparelhos ao computador ou outros é feita através de um conector universal. A Figura 14 mostra um conector USB.



Figura 14 – Conector macho USB

Fonte: USB.org

Com relação à energia necessária para o seu funcionamento, com exceção de *scanners* e impressoras, o próprio dispositivo USB a fornece, ou seja, não é preciso conectá-los à rede elétrica. Os celulares, por exemplo, podem ser carregados através de uma das entradas para USB de um computador. Assim, após uma configuração adequada, há duas interfaces possíveis neste tipo de conexão, *Bus-powered*, no qual a alimentação ocorre pelo próprio USB e *Self-powered*, onde o dispositivo necessita de uma fonte externa de energia elétrica para poder funcionar, já que não se alimenta do *Bus* USB.

Há a possibilidade de utilizar HUBs para conseguir conectar vários aparelhos em uma única porta de entrada USB (até 127 dispositivos), pois eles dividem a velocidade de transmissão entre eles, no entanto, não é recomendado fazer isso com muitos dispositivos ao mesmo tempo, pois a velocidade pode ser comprometida. Na versão USB 2.0, a velocidade padrão pode ser de 480 Mbps, enquanto a versão 1.0, a primeira a ser lançada, é de 1,5Mbps.

Outra função do HUB é estender o comprimento do cabo, normalmente limitado a cinco metros, e costuma ser ligado à rede elétrica para que possa fornecer energia suficiente para tantos dispositivos, podendo fornecer por porta 500 mA. No entanto, há também as versões que não apresentam fonte de alimentação, alimentando-se do próprio USB, o que não é recomendado, pois poderá sobrecarregar o USB, neste podem existir até quatro portas, fornecendo 100 mA para cada.

5.3.1 USB 1.0

A primeira versão lançada do USB, em 1995. Como possui uma velocidade muito pequena (1,5 Mbps), na época em que foram lançadas outras interfaces eram utilizadas em sua substituição, pois apresentavam um maior desempenho neste quesito como a FireWire (conhecida também como IEEE1394).

5.3.2 USB 1.1

Considerada a primeira versão que obteve sucesso do USB, lançada um ano depois do seu surgimento, ou seja, em 1996. Com velocidade de transmissão de dados que varia de 1,5 Mbps até 12 Mbps.

5.3.3 USB 2.0

Lançada em 2002, tem como principal diferencial o aumento significativo da velocidade de transmissão, chegando a cerca de 60 milhões de bytes por segundo. Nesta versão, foram combinadas as três taxas de transferência em uma única especificação, ou seja, se o aparelho possui entrada USB 2.0, ele deve ser capaz de suportar tanto a velocidade referente à versão 1.0, quanto as correspondentes as versões 1.1 e 2.0.

5.3.4 USB 3.0

A criação dessa tecnologia surgiu com a finalidade de acrescentar melhorias às versões anteriores. Um dos principais pontos é a velocidade, que pode chegar a ser até 10 vezes mais rápido na transferência de dados (de 4 a 5 Gbps) que a versão anterior. Para atingir essa meta, essa tecnologia apresenta um total de oito fios dentro de um cabo, o dobro existente na versão 2.0, com a função de enviar e receber dados simultaneamente.

Outra vantagem é a economia de energia, podendo utilizar mais energia quando necessário e menos quando não for preciso tanto para a transmissão. A tecnologia USB 3.0 pode assegurar até 900 miliampéres, e o gerenciamento de altas qualidades de imagem, vídeo e música, ou seja, alguns vídeos que possuíam uma qualidade muito elevada e que não eram transmitidos adequadamente pelo USB 2.0, agora podem ser.

No entanto, o seu bom funcionamento depende muito do tipo de *hardware* utilizado. A estimativa é que até o fim deste ano (2011) a diferença de preço entre produtos que utilizam a tecnologia USB 2.0 e USB 3.0 sejam mínimas e o número de dispositivos que a utilizarão tende a crescer significativamente, principalmente aqueles que necessitam transmitir uma quantidade expressiva de dados. Será possível, por exemplo, fazer o *backup* do computador em apenas cinco minutos ou conversar através da *webcam* sem atrasos.

Além disso, o USB 3.0 segue com as mesmas características positivas da tecnologia USB, como a possibilidade de conectar mais de um dispositivo em uma mesma porta, compatibilidade com dispositivos nos padrões anteriores e o fato de não ser necessário reiniciar o computador para poder conectar ou desconectar o USB. A Figura 15 ilustra o conector com tecnologia 3.0.



Figura 15 - Conector USB 3.0 (estrutura interna)
Fonte: USB.org

6O PROJETO – METODOLOGIA

6.1 Funcionamento do Sistema

Para melhor entendimento, o funcionamento do projeto aqui proposto foi dividido nos seguintes módulos:

- Ambiente e Funcionamento geral;
- Lâmpadas;
- Módulo Sensor;
- Receptor Controlador.

6.1.1 Ambiente e Funcionamento Geral

Dado o conceito de sistema de iluminação inteligente, o projeto tem como principal objetivo sua implementação em ambientes, como escritórios, residências, salas de reunião, entre outros, a fim de melhorar a forma como a iluminação é utilizada. Em determinados momentos, por exemplo, a iluminação utilizada neste local pode ser desnecessária por não haver pessoas no ambiente, ou quando elas estão concentradas em determinados pontos, ou ainda, quando já há iluminação exterior no mesmo.

Com esse sistema, pretende-se criar uma condição de iluminação ideal, quando há presença de pessoas e, também, com relação ao desejo do administrador com relação àquele momento, pois ele poderá diminuir a intensidade de iluminação no ambiente, por exemplo. Assim, obtém-se uma economia em energia elétrica e, possivelmente, melhora-se a qualidade de energia do local.

Primeiramente, foi projetada uma interface gráfica, na qual o administrador poderá fazer as configurações necessárias para cada ambiente onde o sistema for instalado. Esta interface gráfica pode ser iniciada em qualquer computador pessoal, ou em uma central de processamento. Seja qual for, estará conectada a uma placa controladora, onde há o módulo

com o Zigbee coordenador ligado por um *driver*, que faz a conexão entre os sistemas através da porta USB.

Quando a interface gráfica estiver devidamente configurado e for acionado, ele aguardará o recebimento de um sinal - enviado pelo módulo sensor (sensor de presença). Quando este módulo detecta a presença de uma pessoa no ambiente, ele encaminha um sinal para a placa coordenadora – que fará o envio para a interface gráfica. Assim, o sinal é processado e reenviado para os módulos de recepção, ou receptor controlador.

O receptor controlador irá processar o sinal recebido de acordo com o protocolo de comunicação proprietário, e pode acionar até seis chaves que ligam as lâmpadas escolhidas.

Além dessa função, foi desenvolvido um sistema complementar, que permite o administrador configurar uma ação, que acontecerá no dia e horário pré-determinado por ele. Denominado agenda, há duas opções de ação, de programar o acionamento de um sensor e ativar um perfil de configuração, ambos de acordo com a necessidade de cada ambiente ou da vontade do administrador quando este não estará presente no local.

6.1.2 Lâmpadas

Como vimos anteriormente, apesar de um sistema inteligente de iluminação ter a necessidade de um controle de ajuste fino da luminosidade, ou seja, um sistema de dimerização, chegou-se a conclusão que LED's e fluorescentes com reatores eletrônicos dimerizáveis ainda estão fora da realidade do mercado de consumo brasileiro. Além disso, a utilização de lâmpadas incandescentes, que são facilmente dimerizáveis, acarretaria um gasto muito elevado de consumo energético, o que tornaria este projeto inviável por motivos financeiros.

Portanto, utilizou-se lâmpadas LED tubulares e com rosca E-27, comuns nas lâmpadas incandescentes, com reatores eletrônicos embutidos, que tem um menor consumo energético, e serão os mais utilizados nos ambientes desejados para o projeto, visto que tem uma luminosidade mais focada, definindo melhor quais lâmpadas acionar e em qual momento.

6.1.3 Módulo Sensor

Os sensores de presença utilizados no projeto utilizam infravermelho para verificar se uma pessoa está ou não em seu campo de visão. Neste projeto, são utilizados sensores genéricos de empresas relacionadas com segurança, pois possuem algumas das características desejadas, como: utilização de baterias em seu interior, com uma tensão de alimentação entre 9 V e 16 V; consumo de 40 μ A em *stand-by* e 14 mA em funcionamento, podendo acionar com um campo de visão de 110°; e cerca de 12 m de cobertura. A figura 16 ilustra um destes tipos de sensor.



Figura 16 – Sensor de presença padrão

Cada módulo de sensor é composto por um sensor de presença; um microcontrolador; e um módulo Zigbee (*Router/End Device*). Quando o sensor de presença é acionado, ele envia um sinal para o microcontrolador, que após o interpretar, envia informações via interface serial RS 232 para o módulo Zigbee, cuja finalidade é enviar os dados via RF para seu coordenador, ou seja, o módulo Zigbee que coordena todos os outros.

Nesta configuração, foi utilizada a topologia malha (*Mesh*). Sendo assim, somente um coordenador estará no sistema (receptor coordenador) e os sensores de presença são roteadores e dispositivos finais, podendo retransmitir o sinal de outros módulos para seu destino final, o que garante uma maior confiabilidade ao sistema e uma maior área de cobertura.

Os módulos de sensores são móveis, ou seja, sem necessidade de qualquer ligação por fios, podendo, então, serem facilmente dispostos em posições diferentes. A localização dos sensores deverá ser definida de acordo com cada tipo de ambiente, ou seja, após um estudo das necessidades de cada um, para que se obtenha o resultado esperado com relação ao objetivo mencionado.

6.1.4 Receptor Controlador

Neste módulo, há um microcontrolador ligado fisicamente ao Zigbee. O microcontrolador recebe os sinais via interface serial RS 232 do Zigbee e os interpreta, utilizando o protocolo de comunicação proprietário, melhor explicado a seguir. Após este ser processado, tem-se as saídas para as seis lâmpadas, no mesmo circuito.

O sistema de transmissão entre os módulos funciona em modo *broadcast*, ou seja, o Zigbee Pro envia o sinal para todos o módulos da sua rede, sejam eles sensores ou receptores controladores, e cabe ao microcontrolador interpretar e definir se a mensagem é para ele ou não.

Por ele ser um módulo que estará sempre ativo, tem-se um consumo de energia mais elevado. Porém, por ele estar próximo às lâmpadas, de preferência no teto ou forro da sala, pode estar ligados diretamente em uma fonte de tensão DC de 12 V separada, que poderá estar ligada na mesma rede de energia elétrica das lâmpadas.

6.2 Protocolo de Comunicação

Os sensores enviam uma palavra de 1 byte, ou seja, 8 bits. Esta palavra o identifica para o receptor controlador, “quem sou eu?”, por exemplo:

Binário: 00011111	Quem sou eu?
Hexadecimal: 31	Sensor 1

Cada sensor tem sua própria identificação, que é gravada ao programar o microcontrolador. Porém, devido limitações na interface, podem ser criados até seis sensores em um mesmo sistema.

O coordenador do sistema recebe este dado e o processa de acordo com a configuração estabelecida pelo administrador e, então, o envia a todos os módulos Zigbee do sistema. No entanto, somente o receptor controlador estará apto a receber este dado e tratá-lo. Um exemplo de funcionamento é apresentado na figura 17.

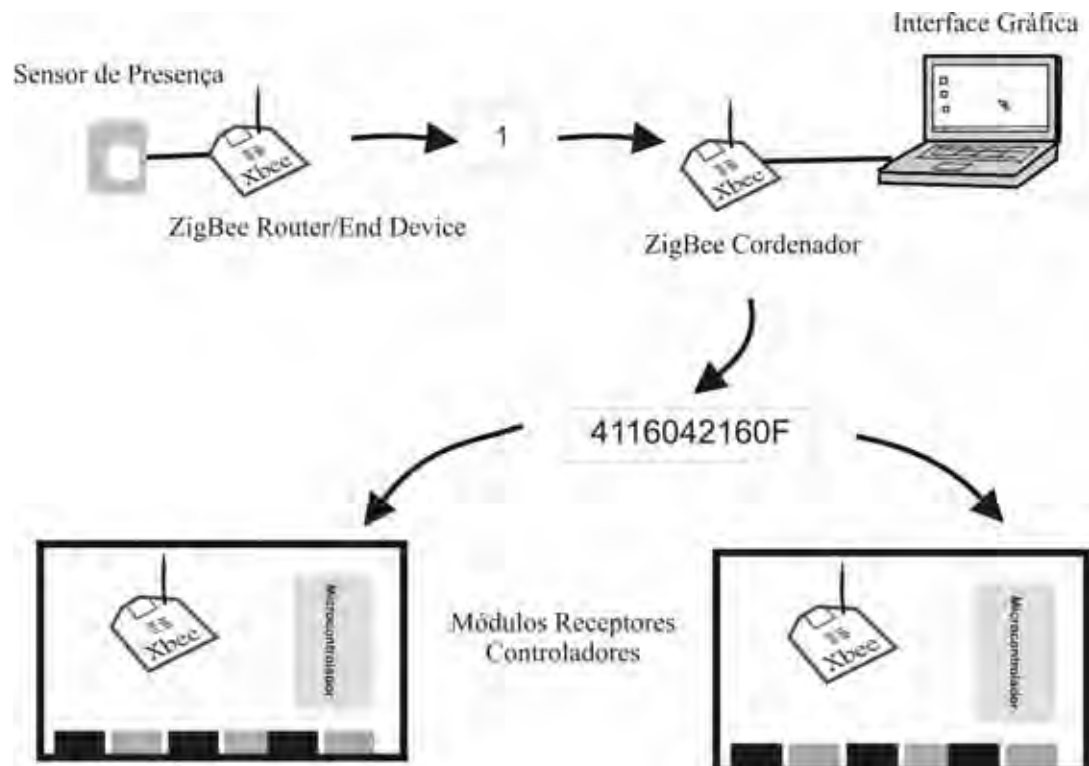


Figura 17 – Representação do protocolo de comunicação

Pela figura 17 podemos observar que o sensor de presença envia a palavra “1” ao seu coordenador que está conectado ao computador com interface gráfica. Neste exemplo, pode-se observar que ao se acionar o sensor 1 tem-se o envio de uma palavra contendo a seguinte informação: “4116042160F”. Esta palavra é recebida por todos os módulos da rede, porém somente os receptores controladores processam a mesma. A figura 18 representa o protocolo utilizado.

Tamanho do Comando	Módulo Relacionado	Saída a Ativar	Tempo em Segundos	
4	1	1	6	0
1 byte	1 byte	1 byte	n bytes	

Figura 18 – Protocolo utilizado nos receptores controladores

Pode-se observar que o primeiro byte é o tamanho de cada comando, ele é necessário pois o tempo de ativação da lâmpada em cada comando não tem um número de bytes fixo. Os próximos bytes definem para qual receptor controlador é destinado aquele comando, a saída

que o módulo irá ativar, e, por fim, o tempo de ativação. Quando um comando é recebido pelo módulo receptor controlador, ele verifica se o comando é para ele, caso não for, ele simplesmente descarta o mesmo. A seguir destes temos um próximo comando, “42160”, no qual diz que a informação é para ser processada pelo receptor controlador número 2. Por fim temos um caractere “F” que indica para os módulos o final de uma sequência de comandos.

6.3 Microcontrolador

O microcontrolador, utilizado nesse projeto, é o PIC16F877A, produzido pela Microchip, cuja pinagem é mostrada na Figura 19. A escolha deste foi feita devido ao fato de ter algumas características importantes, como: cinco conjuntos de portas de entrada e saída, conversor analógico-digital de 10 bits de resolução, três tipos de temporizador; PWM interno, comunicação USART; e alimentação de 2 V a 5,5 V.

Uma desvantagem deste microcontrolador é seu tamanho, pois possui 40 pinos. No entanto, o projeto é feito considerando possíveis expansões.

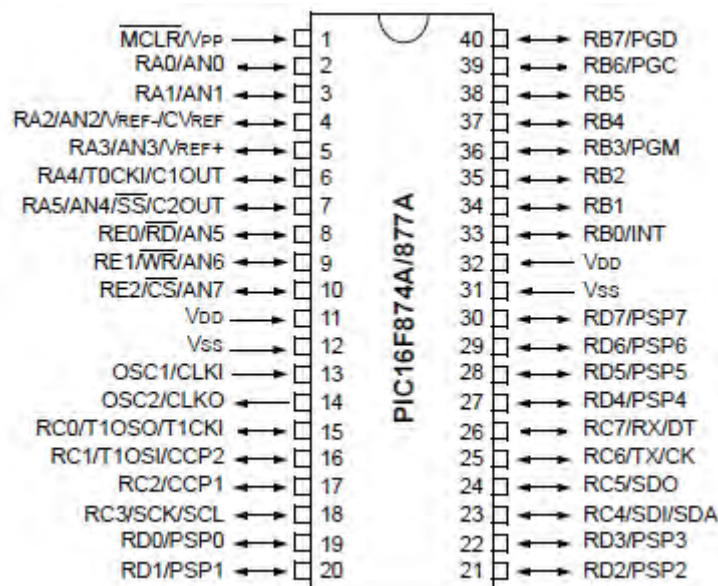


Figura 19 – Pinos do microcontrolador PIC16F877A

Fonte: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>>

6.4 Circuito Eletrônico

Os circuitos eletrônicos foram primeiramente emulados pelo *software* Proteus¹ antes de serem implementados. A Figura 20 apresenta o esquemático do circuito para os sensores. A entrada do pino RB4 recebe um pulso quando o sensor detecta uma pessoa e o microcontrolador devolve um sinal pelo pino TX, enviando, através do Zigbee, para o receptor.

A Figura 21, por sua vez, representa o circuito do receptor. O pino RX recebe o sinal do sensor e o decodifica. Após isso, há uma saída de acordo com os sinais pelos pinos da porta B. Cada saída da porta B está conectada a um relé que, fechando seu circuito, acenderá uma lâmpada.

Em ambos os circuitos, temos uma tensão acima do necessário para alimentar os módulos Zigbee e os microcontroladores. Por isso, é utilizado um regulador de tensão 7805, abaixando a tensão para 5 V, sendo que o sensor recebe uma tensão de 9 V e o receptor controlador 12 V. Esta tensão de 5 V alimenta o microcontrolador. No entanto, os módulos Zigbee operam com uma tensão de 3,3 V. Para regular essa tensão, foi utilizado um zener (1N4728), que recebe 5 V e o transforma em 3,3 V.

O PIC16F877A não possui oscilador interno, portanto, foi utilizado um cristal de cerca de 4 MHz. É importante resaltar que a utilização de um oscilador externo possui uma maior confiabilidade e, por utilizar a comunicação serial, quanto maior a precisão menor a possibilidade de ocorrer falhas de comunicação.

Em ambos os circuitos, tem-se um botão capaz de reiniciar os módulos Zigbee e o microcontrolador. Esta característica é importante caso os módulos Zigbee não consigam se auto adicionar a rede, ou caso haja um travamento interno.

Os relés utilizados são alimentados pela fonte de 12 V, ou seja, pela mesma alimentação do módulo. Eles são ativados por um transistor BC377, que funciona em saturação e corte, ativando o relé ou não.

Na comunicação serial, a ligação entre o microcontrolador e o Zigbee pode ser feita diretamente nos receptores controladores, pois o Zigbee envia um sinal com 3,3 V para o microcontrolador. Porém, nos módulos dos sensores, deve-se fazer um divisor de tensão, já

¹ Para mais informações sobre o *software*, acesse <http://www.labcenter.com/index.cfm>

que a tensão de saída dos microcontroladores é de 5 V e a tensão máxima que o Zigbee suporta é 3,4 V.

As figuras 21 e 23 mostram as placas do circuito já implementadas, a placa de circuito de sensores e a dos módulos receptores controladores, respectivamente.

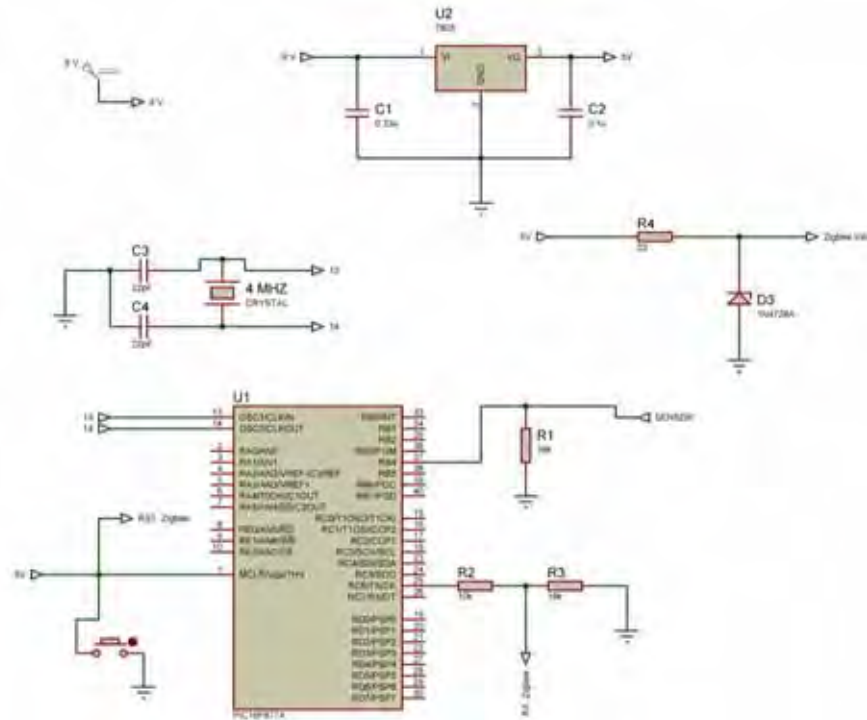


Figura 20 – Esquemático do circuito dos sensores

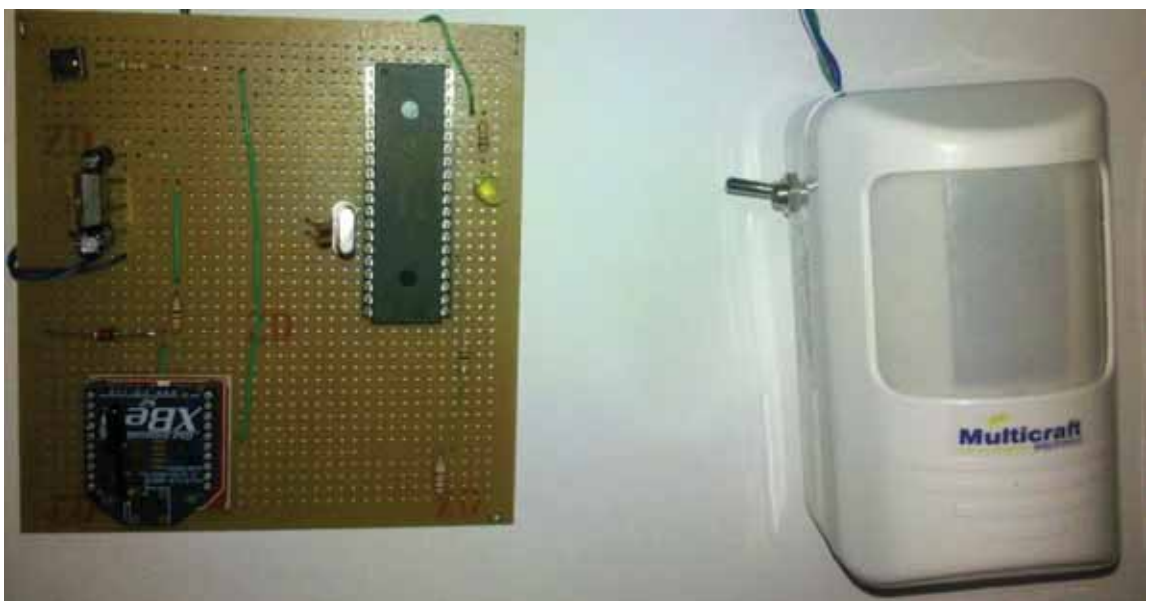


Figura 21 – Placa finalizada do circuito dos sensores

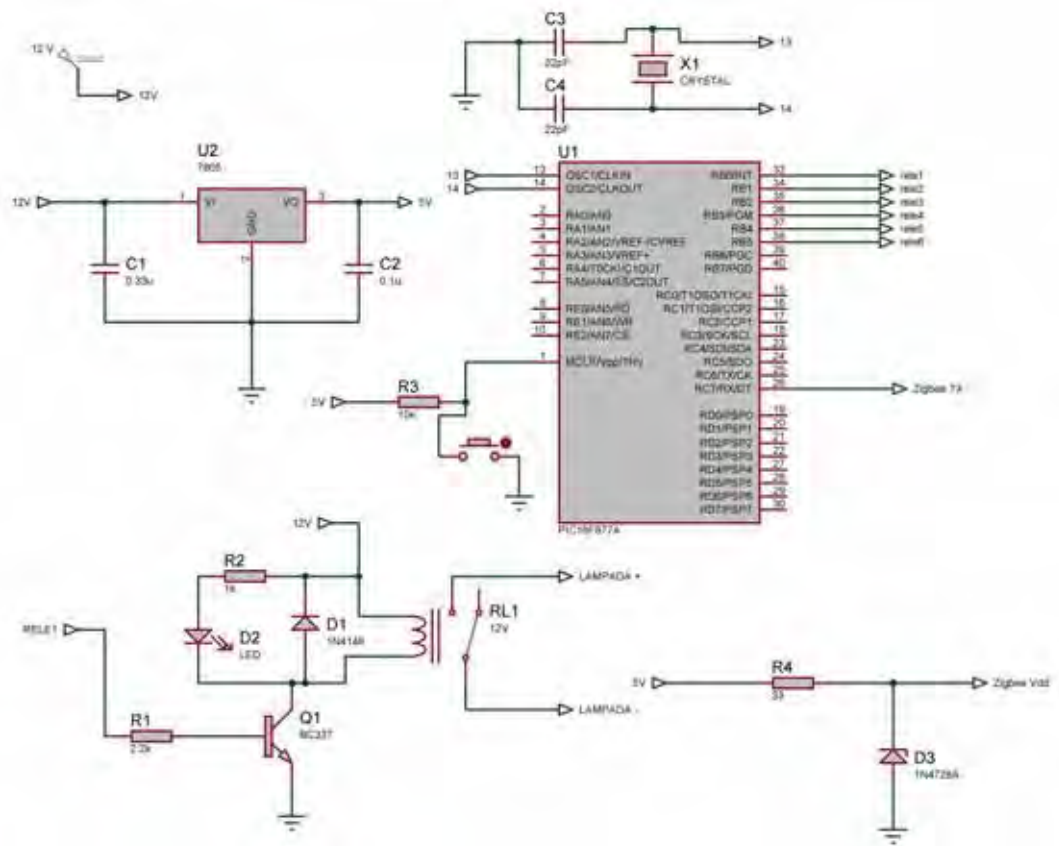


Figura 22 – Esquemático do circuito do receptor



Figura 23 – Placa finalizada do circuito do receptor

6.5 Interface Gráfica

Com essa interface gráfica, desenvolvida para o sistema, a interação com o administrador se torna bastante simples. As tarefas estão dispostas, facilmente, em uma janela principal do sistema, na qual o administrador deve adicionar os módulos disponíveis na rede, utilizando o botão adicionar, na seção módulos. E, feito isso, adicionar as lâmpadas, de acordo com a necessidade observada por ele. É importante saber que cada módulo possui seis saídas e, então, escolher quais lâmpadas acenderão ao se acionar um sensor de presença, e por quanto tempo.

Esta configuração é chamada de perfil, que pode ser salva em disco para uso futuro, se necessário. Para isso, há um botão específico – representado por uma figura de disquete. Quando desejar ativá-lo, basta selecioná-lo na lista ao lado e carregar.

Este perfil poderá ser configurado independentemente do sistema já ter sido iniciado ou não. No entanto, deve-se saber que será necessário seu reinício, para que as modificações sejam aplicadas.

Para se conectar ao sistema, o administrador deve conectar o *driver* USB no computador e aguardar que o sistema o reconheça. Quando isso ocorrer, o programa poderá ser iniciado.

Primeiramente, o administrador deverá escolher corretamente qual porta serial o módulo Zigbee está conectado, pois o erro nesta decisão acarretará o não funcionamento do sistema. Será apresentada uma lista de portas no canto superior esquerdo da janela principal do programa. Feito isso, deve-se “Abrir Porta”, através de um botão logo abaixo.

Ao efetuar este processo, aparecerá uma mensagem de aviso, na qual o administrador saberá se a porta está “OK”, iniciando, assim, o programa em si. Caso contrário, será necessário identificar o problema com a porta, e tentar novamente. A janela principal do *software* é apresentada na figura 24.

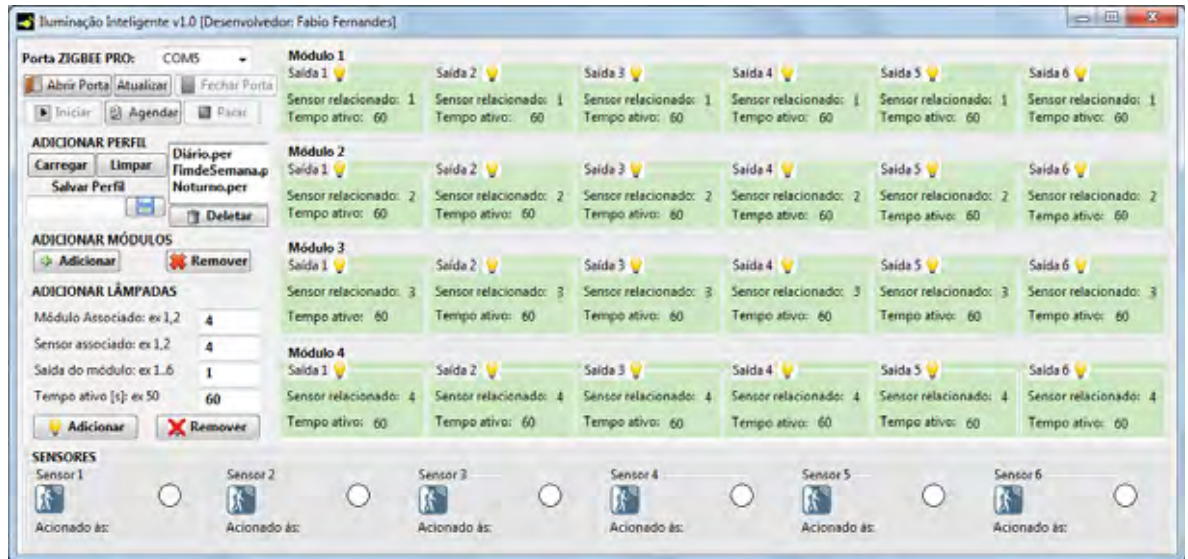


Figura 24 – Interface do sistema

Outra funcionalidade do sistema, como dito anteriormente, é a agenda. Há um botão específico para esta função, que levará o administrador a outra janela, na qual poderá definir qual ação deseja, em um dia e hora determinados, como: quais sensores deverão ser acionados, ou qual perfil será carregado naquele tempo. O agendador de tarefas é apresentado na figura 25.

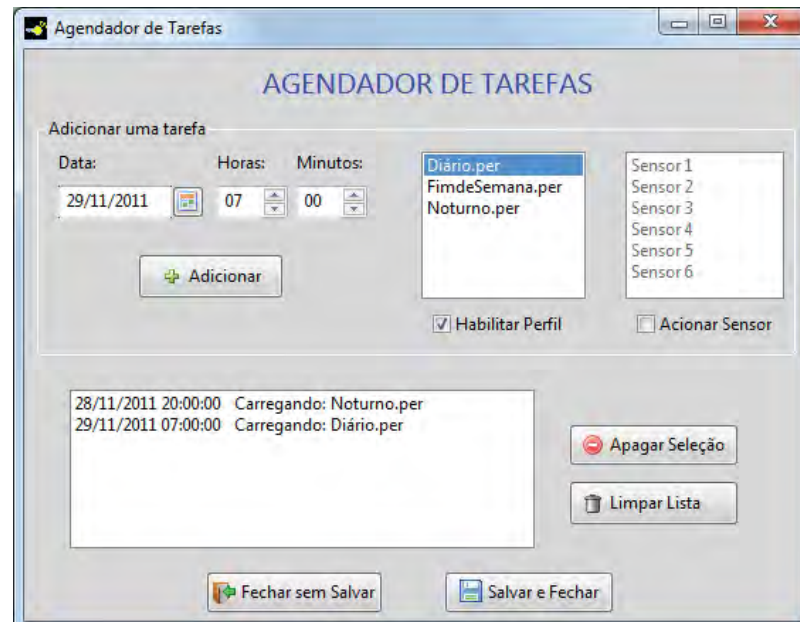


Figura 25 – Sistema de agendamento

6.6 Configuração dos Módulos Zigbee

As configurações do módulo Zigbee foram feitas para atender o padrão malha, ou seja, o coordenador, no qual possui todas as informações sobre a rede, somente ele, pode se comunicar com todos dispositivos da rede. Os sensores de presença são roteadores/dispositivos finais e possuem a capacidade de rotear ou somente enviar uma mensagem até que chegue ao seu destino, ou seja, o coordenador do sistema.

A opção por esse padrão é devido ao fato do local da rede ser um ambiente pequeno e sem obstáculos e, também, porque os módulos Zigbee do tipo dispositivo final (*End Device*) são mais baratos. Além disso, será utilizada a função *broadcast* do coordenador, em que todos dispositivos recebem as mesmas instruções, cabendo a cada um verificar se a instrução o pertence.

As configurações dos parâmetros dos módulos Zigbee foram feitas através da utilização da placa coordenadora, em conjunto com o software X-CTU da empresa DIGI ².

Para que os módulos Zigbee possam ser configurados, foi utilizado um *driver*, que faz a interface entre o Zigbee e o computador, chamado INT700 USB, fabricado pela empresa ALBACORE, que possui um chip conversor USB/Serial, regulador de tensão de 5 V para 3,3 V, entre outras facilidades, simplificando, então, a conexão entre o PC e o módulo, como mostra a Figura 26.



Figura 26 – Placa Xbee INT700

Fonte: <http://www.albacore.com.br/m/p/pg_prod/275>

² Para saber mais sobre a empresa, acesse www.digi.com

Após a instalação do programa X-CTU, ao abri-lo, tem-se algumas configurações e testes que podem ser feitos, apresentados na Figura 27.

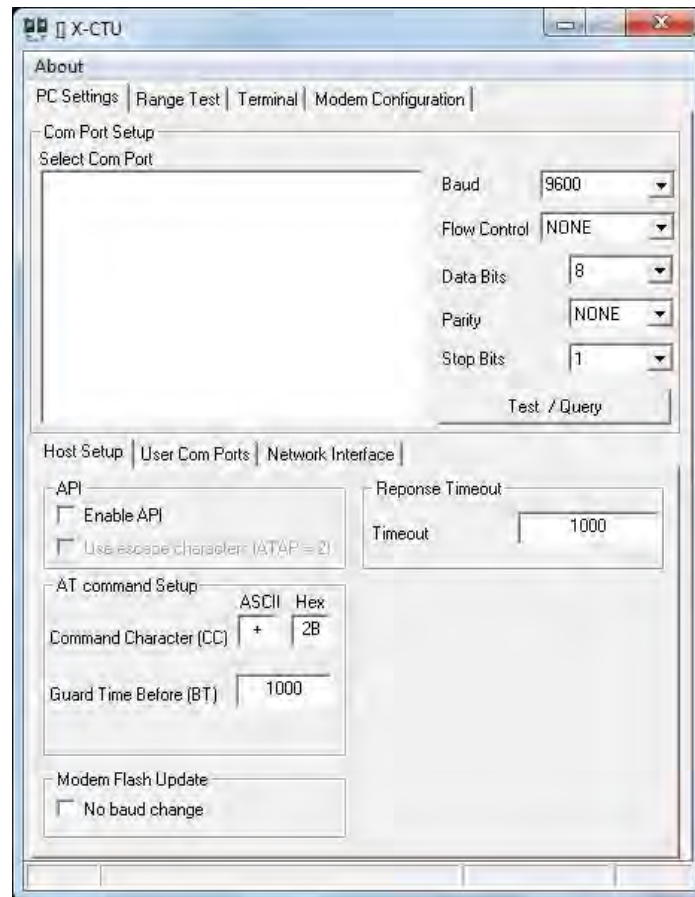


Figura 27 – Ambiente do X-CTU (PC Settings)

Primeiramente, deve-se conectar o módulo Zigbee ao computador utilizando o *driver* INT700 USB. Após isto, deve-se configurar a porta de entrada através da primeira tela do X-CTU, ou seja, a porta COM, onde estão o módulo e os parâmetros seriais. Existe uma função de teste para verificar se a conexão esta funcionando ou não e, caso esteja, deve ser apresentada a seguinte janela, representada na Figura 28:

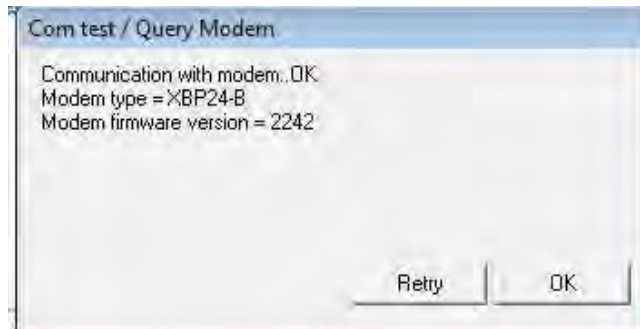


Figura 28 – Ambiente do X-CTU (Com Test)

Assim que a comunicação de dados entre o PC e o módulo estiver “OK”, segue-se para a aba de configuração dos módulos Zigbee (*Modem Configuration*), como apresentado na Figura 29.

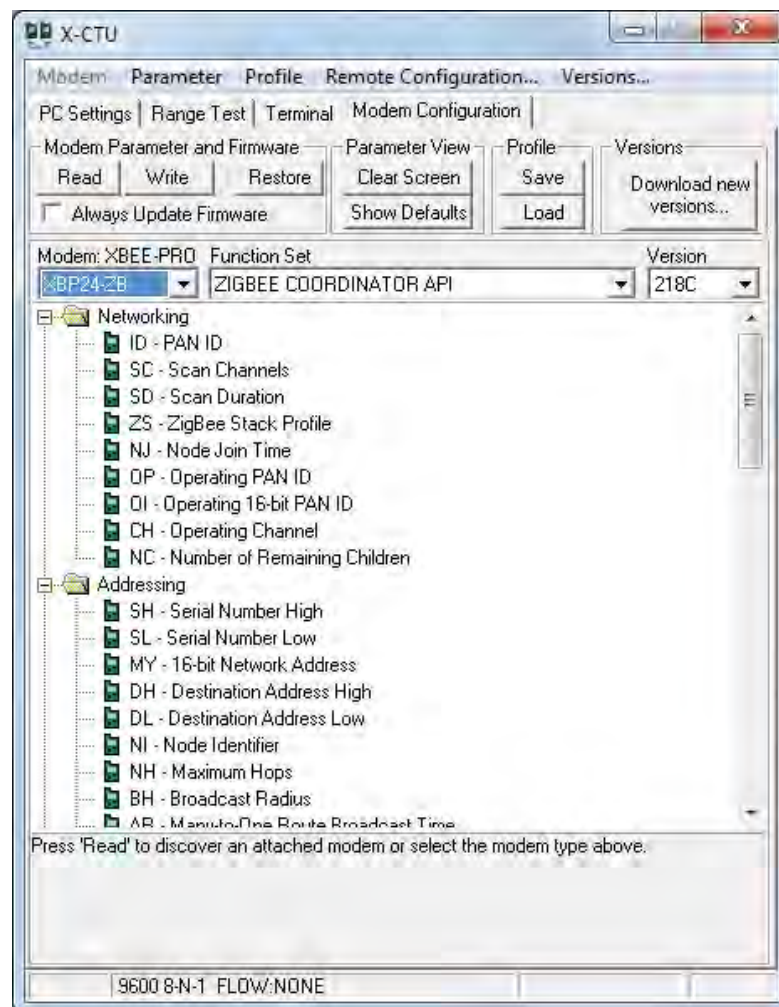


Figura 29 – Ambiente do X-CTU (Modem Configuration)

Dentre as inúmeras possibilidades encontradas na aba “configuração”, para que os módulos Zigbee funcionem, deve-se, primeiramente, clicar em *Read*, para que a versão de *firmware* e o tipo de dispositivo sejam descobertos pelo programa. De acordo com cada tipo de módulo, podem aparecer opções diferentes. No entanto, há uma configuração básica para que eles se comuniquem entre si, apresentada a seguir, que se adequa a todos os tipos.

Os parâmetros são:

- **FUNCTION SET:** Este campo define o *firmware* do Zigbee, ou seja, qual será sua função na rede. Neste projeto, o coordenador da rede utiliza um *firmware coordinator API* e os outros módulos *Router/End Device AT*.
- **ID-PAN ID:** Este será o identificador da rede e todos os outros dispositivos devem ter o mesmo número configurado.
- **DH – Destination Address High:** Define a parte mais significativa do endereço de destino da mensagem transmitida. Para a utilização do modo *broadcast*, este campo deve ser completado com zero.
- **DL – Destination Address Low:** Este define a parte menos significativa do endereço de destino da mensagem transmitida. Devido ao fato de estar sendo utilizado o modo *broadcast*, este campo deve ser diferente para o módulo coordenador e o módulo final. No módulo coordenador, devemos inserir: 0000FFFF, e no módulo final, coloca-se “0”, para ativar somente a comunicação com o coordenador.

Devidamente configurado, deve-se clicar no botão *Write*, para que sejam gravadas as configurações nos dispositivos.

Após a configuração dos módulos, têm-se duas abas que podem verificar, através de um terminal, se todos estão se comunicando e qual é o nível de sinal disponível. As abas estão apresentadas na Figura 30.

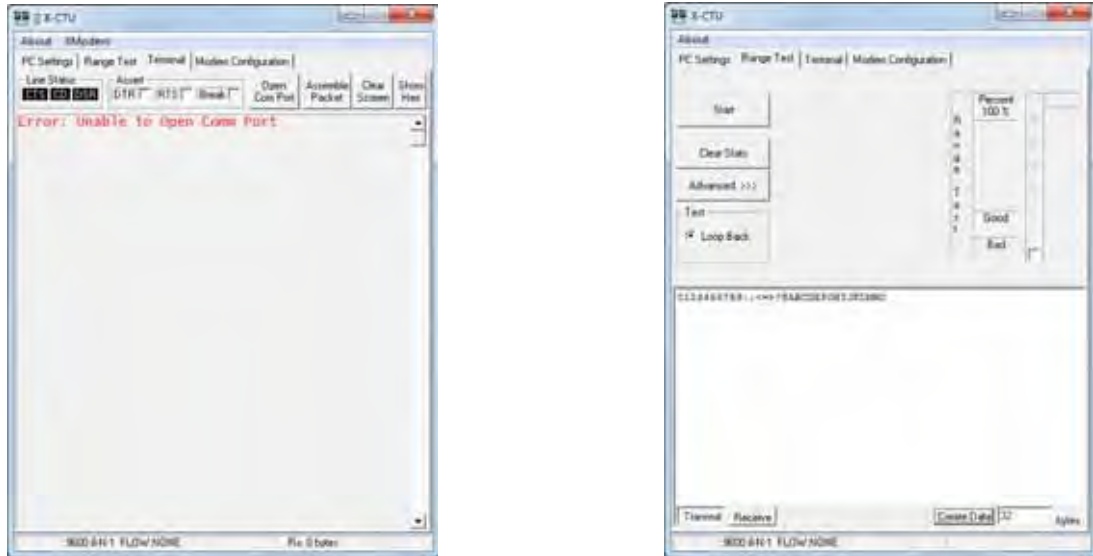


Figura 30 – Ambiente do X-CTU (Terminal e Range Test)

6.7 Linguagem de Programação e Fluxogramas

Neste tópico, são apresentados os principais trechos dos códigos desenvolvidos, sendo: código da interface gráfica e código dos microcontroladores.

6.7.1 Interface Gráfica

A linguagem de programação utilizada para programar o algoritmo da interface gráfica é o pascal utilizando-se a plataforma Delphi produzida pela Borland. Foi escolhida esta linguagem por ter uma facilidade em criar um ambiente gráfico bem definido e fácil de ser implementado. Esta linguagem também possui algumas características importantes como a API (*Application programming interface*) serial do Windows, atribuindo ao Windows o processo de enviar os dados via comunicação serial e a criação de *timers*. No entanto, resta ao programador a função de atribuir as configurações necessárias ao Windows. Na figura 31 está representado um fluxograma referente à iniciação da porta serial.

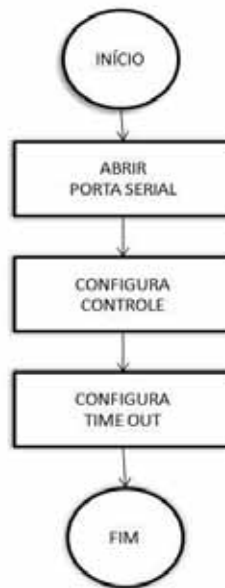


Figura 31 – Fluxograma de início da porta serial

Juntamente com a iniciação da interface gráfica, um *thread* é iniciado para processar a comunicação serial, enviar e receber dados. *Threads* são muito importantes em linguagem de programação, sendo, basicamente, uma função que roda em paralelo com as funções principais do programa. Portanto, mesmo que processo principal do sistema esteja ocupado fazendo alguns processos, a comunicação serial pode estar recebendo ou enviando dados, não ocasionando assim, um estouro no *buffer* da porta serial. A figura 32 apresenta o processo do *thread* serial.

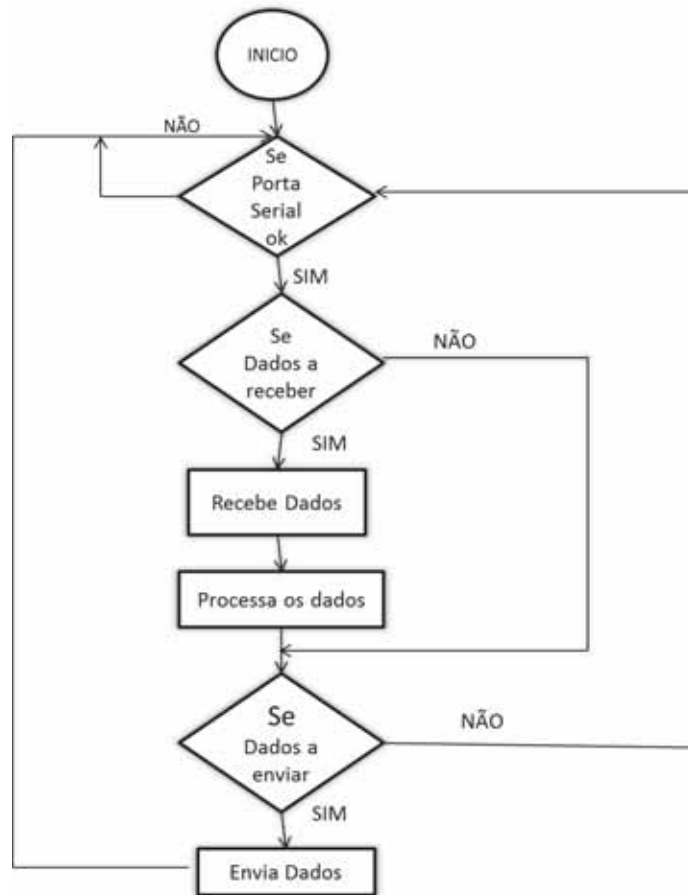


Figura 32 – Fluxograma da *thread* de comunicação serial

Alguns processos deste fluxograma da figura 32 acima devem ser destacados, pois são de suma importância. São eles: “processa os dados” e “Envia dados”. Os dados a serem processados e enviados devem estar em coerência com o protocolo de comunicação do Zigbee, pois apesar do sensor enviar os dados no modo transparente, a recepção no módulo do coordenador está em modo API, sendo assim, ele receberá um pacote, e então terá o seguinte processo apresentado na figura 33.

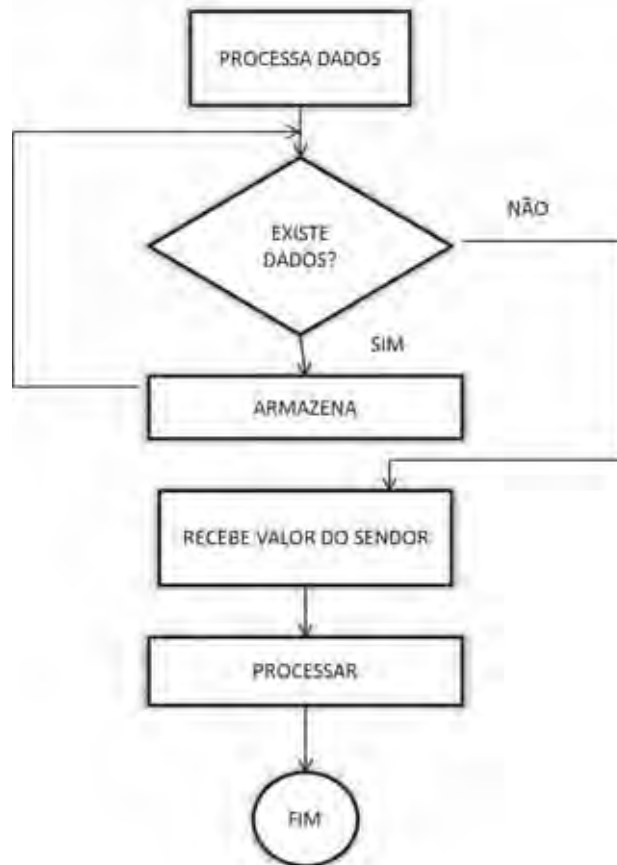


Figura 33 – Procedimento de recepção dos dados

Neste processo, os dados são recebidos e analisados. Assim como o Zigbee, deve-se procurar pelo byte de partida “7E”. Ao encontrá-lo, procede ao pacote e armazena qual sensor acionou naquele momento em uma variável. Após recebê-lo, o número do sensor que enviou o pacote é processado. Assim, ao receber um valor de sensor válido, o sistema verifica as configurações do administrador e processa um pacote para enviar à rede. Este procedimento é apresentado pela figura 34.

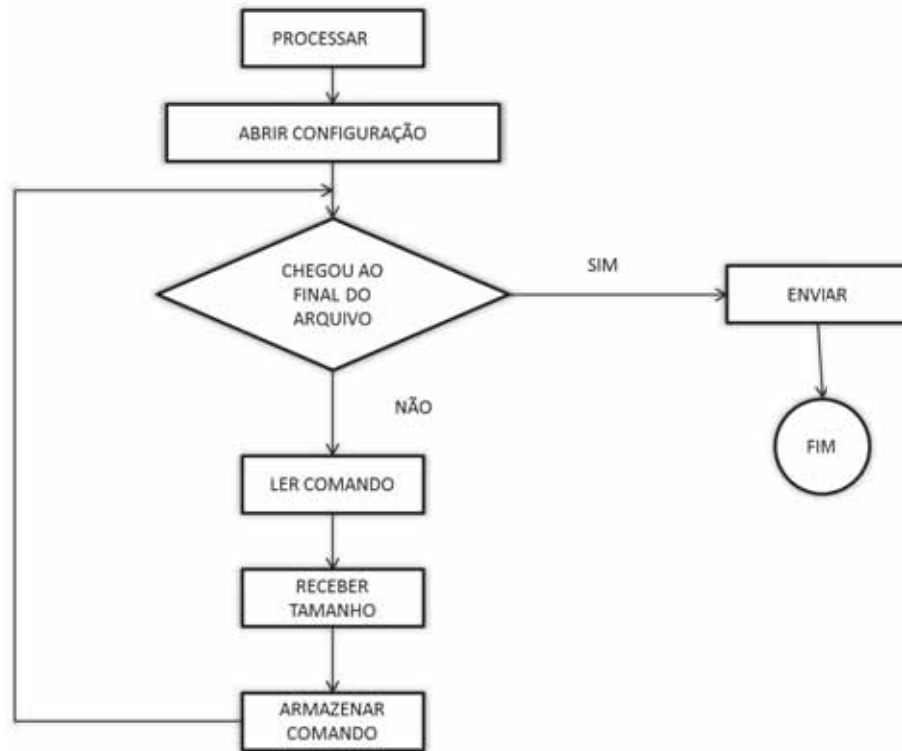


Figura 34 – Processar um dado recebido pela porta serial

A configuração do administrador é sempre armazenada em um arquivo no sistema. Portanto, carregada esta configuração, ela pode ser enviada pelo processo chamado “enviar”. No processo de enviar um dado, deve-se levar em consideração o protocolo do Zigbee, ou seja, fazer o pacote de dados. A figura 35 mostra o fluxograma do processo enviar.

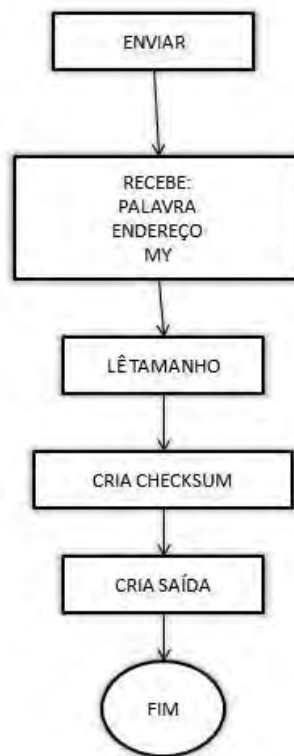


Figura 35 – Fluxograma do processo de enviar um dado

Para se enviar um dado, existe uma função que recebe três variáveis: a palavra, o “endereço” e o “my”. A palavra é o dado que queremos enviar, o endereço e o my, juntos, dizem para qual módulo Zigbee este pacote deve chegar, porém, como estamos trabalhando em modo *broadcast*, estes últimos são valores padrões.

Como cada pacote deve ter um tamanho e um *checksum*, que é um verificador de erros em recebimento de dados, eles são criados neste processo. Ao final, temos o pacote completo a ser enviado.

Na interface gráfica tem-se também uma função chamada agenda, na qual, a cada segundo, o sistema verifica se há alguma tarefa a fazer. Este processo também é um *thread*, assim como o processo serial, funcionando de modo secundário ao programa principal. O fluxograma da agenda é apresentado na figura 36.



Figura 36 – Fluxograma do processo agenda

6.7.2 Microcontrolador

O desenvolvimento do código dos microcontroladores foi feito na linguagem de programação C. Os receptores controladores e os módulos com sensores possuem códigos diferentes.

No código dos sensores, basicamente, ele recebe um sinal de 5 V do sensor pelo pino RB4. Quando isto acontece, ele envia o caractere pela porta serial ao Zigbee, que o reenvia para seu coordenador. Feito isso, aguarda-se 30 segundos, para que o módulo Zigbee não fique funcionando o tempo todo, sem necessidade, economizando, assim energia. O fluxograma que os representa é apresentado na figura 37.

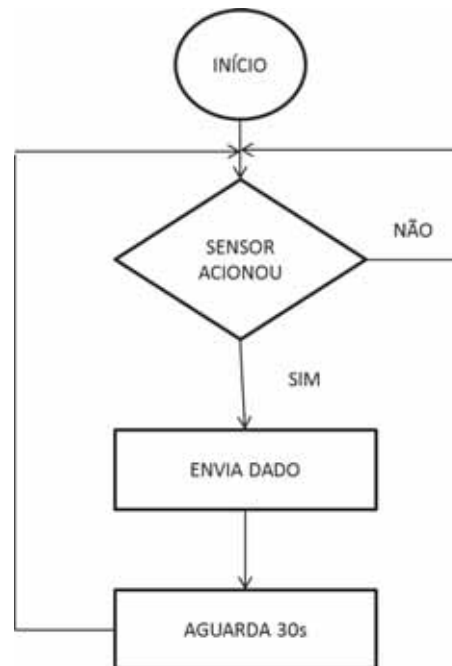


Figura 37 – Fluxograma do código dos sensores

Já o código dos receptores controladores é um pouco mais complexo, pois dependem de dois tipos de interrupções. Uma delas é a do *timer0* e a outra é a da comunicação serial.

Utiliza-se o *timer0* para fazer a contagem de cada segundo do sistema, para que as lâmpadas fiquem ligadas no tempo determinado pelo administrador, sendo que a atualização do sistema é feita a cada segundo. A outra interrupção recebe os dados da porta serial até que sejam recebidos todos os dados, ou seja, chegando-se no caractere “F”.

Após o recebimento de todos os dados, o sistema começa a processá-los, definindo o tamanho do comando, para qual módulo é o comando, qual saída será acionada e por quanto tempo.

Devido ao fato de haver a possibilidade de receber um comando pela porta serial, ao mesmo tempo em que há um processo em funcionamento, foi implementado uma função de fila para o processo. Essa função armazena todos os caracteres recebidos e, à medida que o sistema os vai processando, eles são retirados desta. O processo é representado pelo fluxograma da figura 38.

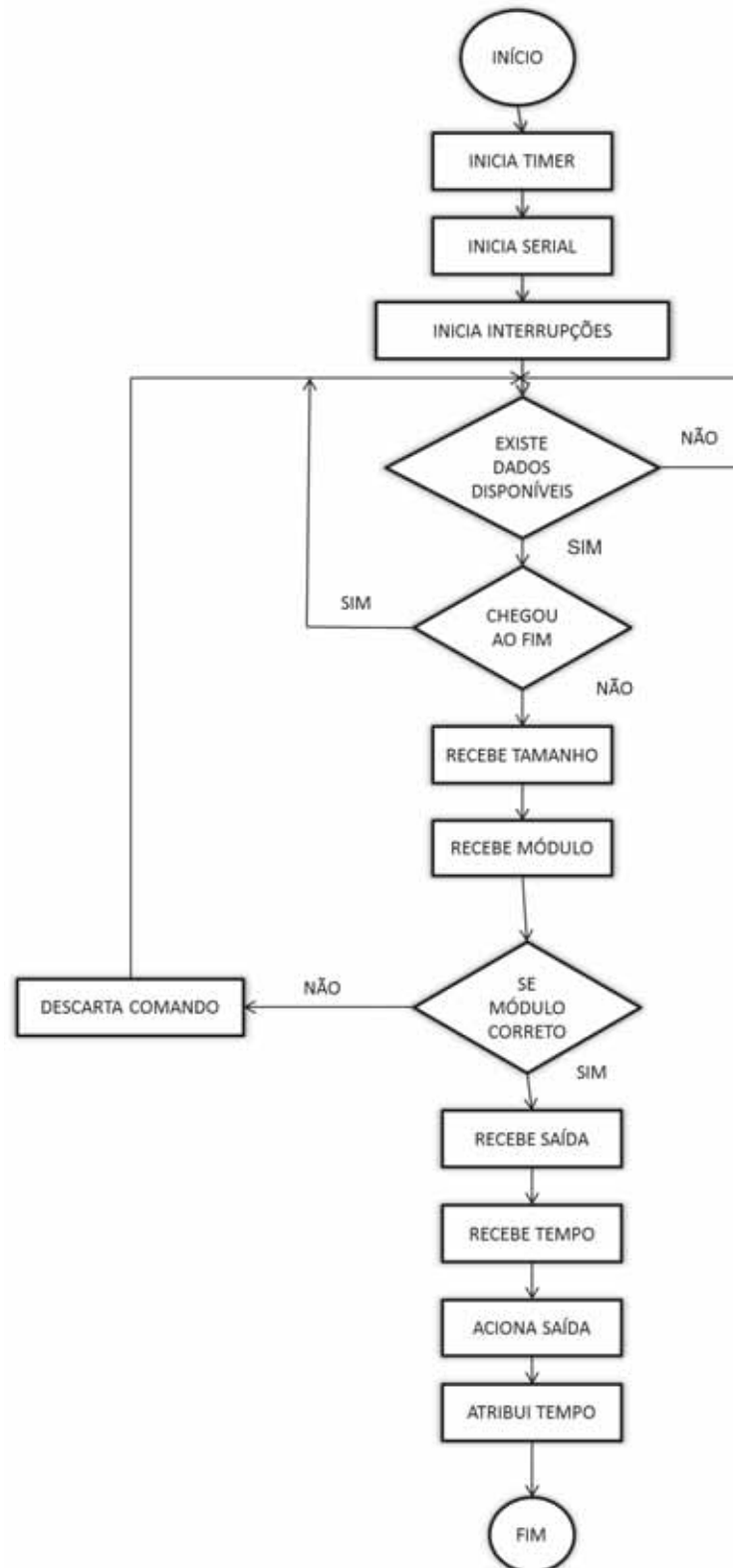


Figura 38 – Fluxograma do receptor controlador

7 RESULTADOS E ANÁLISES

7.1 Lâmpadas

A princípio foram realizados testes simples para definir qual tipo de lâmpadas, dentre as propostas no início do projeto, será utilizada para se obter uma melhor eficiência e custo acessível. Como uma das características fundamentais de um sistema de iluminação inteligente é sua boa relação custo/benefício, segue abaixo um comparativo com base em hipóteses entre os principais tipos de lâmpadas que mostra qual delas é a mais eficiente.

Na primeira hipótese, supõe-se um galpão que utilize apenas lâmpadas incandescentes, com 20 luminárias acesas durante um período de 12 horas por dia em dias úteis. Na segunda hipótese, apenas fluorescentes com reatores eletrônicos. E por fim, a última hipótese sendo um galpão com lâmpadas LED. Na tabela 2 é apresentado o custo total de cada hipótese.

Tabela 2 – Análise de custo para cada tipo de lâmpada

	HIPÓTESES		
	I	II	III
Investimento inicial [R\$]	46,00	337,60	1.370,00
Potência da lâmpada [W]	60	20	8
Consumo de energia em cinco anos [kWh]	18.720	6.240	2.496
Nº de lâmpadas substituídas	320	0	0
Gasto com energia elétrica [R\$]	60.000,00	20.000,00	7.987,20
Gasto com lâmpadas [R\$]	690,00	0,00	0,00
Gasto total	60.690,0	20.337,6	9.357,20
	0	0	

A partir dos dados obtidos pela análise das lâmpadas podemos observar que para um período de cinco anos as lâmpadas LED têm um menor custo. Observando também que lâmpadas LED tem uma duração maior em comparação com as fluorescentes, portanto se adicionarmos mais alguns anos elas terão um custo menor ainda em relação às outras.

Deve-se observar que com a evolução das lâmpadas LED o seu custo estará em constante redução, o que confirma ainda mais esta análise.

7.2 Dispositivos Sem Fio

A partir do estudo realizado pode-se observar que os módulos Zigbee tem uma vantagem em comparação com as outras tecnologias em relação a dispositivos de controle e sensores. Para este projeto são utilizados os módulos Zigbee devido a sua alta confiabilidade, baixo consumo de energia, pois queremos módulos de sensores alimentados por bateria, alcance necessário para uma sala, escritório ou galpão, velocidade alta em relação à utilização neste projeto e baixo custo.

Houve uma dificuldade no momento de decidir a forma na qual seria feita a comunicação entre os módulos Zigbee. A escolha foi fazer pelo modo *broadcast*. Entretanto, podem-se perceber algumas desvantagens com relação a este modo. Entre elas pode-se destacar que o modo *broadcast* inunda a rede, isto é todos os módulos da rede recebem a mesma mensagem ao mesmo tempo. Outra desvantagem é que não há nenhuma confirmação de entrega do pacote de dados, sendo assim não se pode garantir que ele chegue a seu destino, causando assim uma falha no sistema. Uma solução futura para isto seria enviar os dados mais de uma vez para garantir que chegue ao seu destino. Porém, esta alternativa tem a desvantagem de atrasar a resposta com que o sistema responde.

Outra dificuldade encontrada no projeto foi a utilização do modo transparente nos Zigbee, apesar de serem mais fáceis de utilizar, eles não são confiáveis. No início do projeto, foi utilizado este modo, porém verificou-se que com palavras muito extensas, maiores que 5 bytes, o sistema começa a enviar apenas pequenas partes do mesmo, sendo que por vezes enviava o início da palavra e outras o final. A solução para isto foi utilizar o modo API, o que acabou completamente com o problema. Nos testes pode-se verificar que no modo AT, a cada dez palavras enviadas cerca de duas chegavam com problemas, especialmente quando enviadas em um espaço muito curto de tempo, já o modo API todas as palavras enviadas chegavam perfeitas ao seu destino, mesmo que com tempos curtos no envio.

O modo de comunicação entre o módulo Zigbee e o microcontrolador é o padrão serial. O padrão serial se mostrou eficaz, pois o microcontrolador possui internamente este protocolo, o que facilitou sua implementação. Além de possuir todas as características necessárias para a transmissão, como: velocidade e fidelidade.

7.3 Projeto em geral

Os itens utilizados neste projeto estão mostrados na tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Valor total do projeto

Itens	Quantidade	Custo (R\$)
Módulo Xbee S2 Pro	1	110,00
Módulo Xbee S2	3	240,00
Sensor de Presença	2	60,00
Placa Xbee INT700 USB	1	130,00
PIC16F877A	3	30,00
Placas, Cabos e Componentes	Vários	200,00
TOTAL		770,00

Podemos observar que o valor total do custo chegou em torno de R\$ 800,00 reais. Podemos resaltar que o custo de uma automação residencial atualmente chega a valores a partir de R\$ 5.000,00 e irá aumentando de acordo com os requisitos do comprador. Portanto para análise chegamos a um valor compatível com o poder aquisitivo dos brasileiros, visto que este era um dos objetivos do projeto, pode-se considerar que foi alcançado.

8 CONCLUSÃO

No projeto aplicou-se teoricamente e na prática grande parte dos conhecimentos adquiridos durante a graduação, com ênfase na área de telecomunicação, interfaces e programação de microcontroladores.

As pesquisas realizadas comprovam que uma casa inteligente está deixando de se tornar um luxo, pois além de garantir conforto, garante economia, segurança que se refletem na qualidade de vida. Por isso, diversos empreendimentos já estão se adequando a essa nova tendência mundial.

O projeto tem como objetivo se tornar um sistema simples e intuitivo, portanto para desenvolvimentos futuros deve-se implementar uma interface com protocolo TCP/IP, amplamente utilizado pelos computadores atuais para a conexão com a Internet, pois assim, abre-se um leque enorme, como a conexão entre dispositivos de uma rede local ligados a internet via *wireless* ou cabo Ethernet pode-se configurar um sistema de iluminação ou até mesmo qualquer dispositivo conectado aos módulos receptores controladores.

Os componentes utilizados neste projeto sempre levaram em consideração sua expansão, utilizando um microcontrolador robusto, módulos Zigbee que podem ser completamente modificados para outro modo de configuração e transmissão e lâmpadas LED que estão em inovação a cada dia. Como vantagem disto, pode-se desenvolver diversos sistemas de controle, não somente para iluminação como focado neste projeto, mas sim, como controle de ar condicionado, TV, som, persianas, etc.

O projeto conseguiu atingir os objetivos propostos inicialmente, conseguindo desenvolver um sistema de iluminação inteligente controlado por sensores *wireless*.

REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

ALBACORE, **INT700 XBee Placa USB e Serial**, Versão 1.04 – 09/2010. Disponível em: <www.albacore.com.br>. Acesso em: 15 ago. 2011.

BERNARDO, Cláudio Gonçalves. **A TECNOLOGIA RFID E OS BENEFÍCIOS DA ETIQUETA INTELIGENTE PARA OS NEGÓCIOS**. Disponível em: <http://www.unibero.edu.br/download/revistaeletronica/Set04_Artigos/A%20Tecnologia%20RFID%20-%20BSI.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2011.

[1] BOLZANI, Caio Augustus M. **Residências Inteligentes**. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

Custom Computer Services (CCS). **C Compiler Reference Manual**. Disponível em: <<http://www.ccsinfo.com/downloads.php#manuals>>. Acesso em: 24 nov. 2010.

DIGI, international. **XBee®/XBee-PRO® RF Modules**. Disponível em: <http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_D.pdf>. Acesso em: 10 set. 2011.

FREITAS, Claudio César Silva; MESQUITA, Brehme Dnapoli Reis; PEREIRA, Carlos Eduardo; FARIAS, Valcir João da Cunha. **AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL – UMA ABORDAGEM EM RELAÇÃO AS ATUAIS TECNOLOGIAS E PERSPECTIVAS PARA O FUTURO**. Disponível em: <<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/download/111/128>>. Acesso em: 05 ago. 2011.

KINNEY, PATRICK. **Zigbee Technology: Wireless Control that Simply Works**. Disponível em: <http://www.ceid.upatras.gr/faculty/alexiou/ahts/projects/project04/ylikoAskisewn/Evdomada1/B1/Tutorials/802.15.4-Tutorials/Zigbee_Technology_Sept2003.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2011.

MEGOWAN, Patrick J.; SUVAK, David W.; KNUTSON, Charles D.. **IrDA Infrared Communications: An Overview**. Disponível em: <<http://dogbert.mse.cs.cmu.edu/charlatans/References/Overview.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2011.

MICROCHIP. **PIC16F87XA Data Sheet**. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2011.

[2] MEYER, Gordon. **Smarth Home Hacks. Tips & Tools for Automating Your House**. Sebastopol: O'Reilly Média, 2004.

OLIVEIRA, Prof. Levi P. B. **ZigBee**. Disponível em: <<http://www.del.ufs.br/~levi/TEEE/ZigBee.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

OSRAM. Quicktronic Intelligent Dim. Disponível em: <http://www.osram.com.br/osram_br/Profissional/Sistemas_Eletronicos/Reatores_Eletronicos_para_Lampadas_Fluorescentes/Reatores_eletronicos_dimerizaveis_com_interface_analogica_1_10V/Reatores_eletronicos_dimerizaveis_para_lampadas_fluorescentes_tubulares_T5_16_mm_/index.html>. Acesso em: 15 dez. 2011

Pereira, Fábio. **Microcontroladores – PIC: Programação em C**. 7. Ed. São Paulo: ÉRICA, 2009.

PINHEIRO, Prof. José Mauricio Santos. **As redes com Zigbee**. Disponível em: <<http://www2.eletronica.org/artigos/electronica-digital/as-redes-com-Zigbee>>. Acesso em: 25 set 2011.

RODRIGUES, Pierre. **Manual de Iluminação Inteligente**. Disponível em: <http://www.cqgp.sp.gov.br/gt_licitacoes/publicacoes/procel%20predio_pub_manual_iluminacao.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2011

ROGERCOM. **XBee/Zigbee - IEEE 802.15.4**. Disponível em: <<http://www.rogercom.com>>. Acesso em: 20 set. 2011.

TERUEL, Evandro Carlos; NOVELLI FILHO, Aristides. **Principais tecnologias de automação residencial comercializadas no Brasil e suas características**. CEETEPS. Disponível em: <http://www.centropaulasouza.sp.gov.br/pos-graduacao/workshop-de-pos-graduacao-e-pesquisa/anais/2007/posteres/TERUEL,%20Evandro%20Carlos_3.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2011.

USB. Disponível em: <<http://www.usb.org>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

XBEESTORE. **O Que É XBee?**. Disponível em: <<http://www.xbeestore.com.br>>. Acesso em: 10 jun. 2011.

TELECO. **ZigBee: aplicaciones**. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/es/tutoriais/es_tutorialzigbee/pagina_2.asp>. Acesso em: 15 dez. 2011.