ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

SIDNEY JOSÉ MONTEBELLER

**Estudo sobre o emprego de dispositivos sem fios – *wireless* na automação do ar
condicionado e de outros sistemas prediais**

São Paulo
2006

SIDNEY JOSÉ MONTEBELLER

**Estudo sobre o emprego de dispositivos sem fios – *wireless* na automação do ar
condicionado e de outros sistemas prediais**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Elétrica

Orientador:
Prof. Dr. Augusto Ferreira Brandão Junior

São Paulo
2006

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de julho de 2006.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Montebeller, Sidney José

Estudo sobre o emprego de dispositivos sem fios - *wireless* na automação do ar condicionado e de outros sistemas prediais / S.J. Montebeller. -- ed.rev. -- São Paulo, 2006.

129p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Automação predial 2.Sistemas de refrigeração e ar condicionado (Automação) 3.Dispositivos sem fios I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Sidney José Montebeller
Uso de Redes Wireless na Automação Predial

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Elétrica

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

A Deus, pela sua misericórdia, paciência e amor com que nos ensina.

Aos meus pais, Benvindo José Montebeller e Maria José Montebeller, pela dedicação e pelo amor com que me educaram.

A todos os meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Augusto Ferreira Brandão Junior, pela ajuda e dedicação durante a elaboração da dissertação de mestrado.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Aos amigos Rogério, Eduardo, Luis Augusto, Marcos, Lídio, José Luiz, Joel e tantos outros que me ajudaram a crescer pessoalmente e profissionalmente.

À Faculdade de Engenharia de Sorocaba, pela confiança depositada em meu trabalho.

“A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido origem segundo o plano de um Ser que tudo sabe e tudo pode. Isto fica sendo a minha última e mais elevada descoberta.”

Isaac Newton

”Não há nada de nobre em sermos superiores ao próximo. A verdadeira nobreza consiste em sermos superiores ao que éramos antes.”

Autor desconhecido

RESUMO

MONTEBELLER, S. J. **Estudo sobre o emprego de dispositivos sem fios – *wireless* na automação do ar condicionado e de outros sistemas prediais**. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), 2006.

Este trabalho apresenta um estudo de tecnologias de comunicação sem fio e suas aplicações na automação predial. A principal motivação para a elaboração deste trabalho é o uso crescente dessas tecnologias em diversas áreas, principalmente em sistemas de automação industrial, comercial, residencial e predial. O uso de equipamentos como telefones celulares e *notebooks*, que possuem canais de comunicação sem fio (Bluetooth, 802.11b/g – WiFi, etc.), também contribuiu para o aumento do interesse na pesquisa de soluções usando redes sem fio. Inicialmente são apresentadas e estudadas, de forma comparativa, as tecnologias existentes de comunicação sem fio. Em seguida, são apresentados os principais sistemas que podem ser automatizados dentro de um edifício inteligente e também exemplos de aplicações de uso das tecnologias sem fio. A demonstração do uso de dispositivos sem fio foi feita a partir de um protótipo. Esse protótipo foi elaborado com o objetivo de substituir sensores de temperatura de um sistema de ar condicionado. O consumo das baterias e a relação custo-benefício do sistema foram os principais itens avaliados. Este estudo pretende demonstrar que dispositivos sem fio podem ser mais uma opção na automação de edifícios e residências, podendo servir como solução, em vários casos, para problemas de infra-estrutura e de integração dos sistemas de automação.

Palavras-chave: automação predial; redes sem fio; sensores sem fio; automação elétrica; automação industrial; edifícios inteligentes.

ABSTRACT

MONTEBELLER, S. J. A Study of Wireless Devices Technology Application for the Automation of the Air Conditioning and other Building Systems. 2006. 129 f. Dissertation (Master of Science) – Politechnic School of the University of Sao Paulo (EPUSP), 2006.

This work presents a study of the wireless communication technologies and their applications to intelligent building automation systems. The main motivation for this work is the increasing use of wireless technologies in several areas, specifically industrial, commercial, residential and building automation. The use of equipments as cellular telephones and notebooks, provided by wireless communication channels (Bluetooth, 802.11b/g – WiFi, etc.), has been contributing to the interest in the research of solutions related to this technology. Initially, the existent commercial technologies of some wireless communication systems are presented and studied, in a comparative way. The main systems that exist inside an automated intelligent building and examples of applications of the wireless technologies are presented. The use of wireless devices was depicted by means from a prototype, which was built up with the scope of substituting the sensor of temperature of an air conditioning system. The consumption of the batteries and the cost-benefit relationship of the system were the main items evaluated with the prototype. This study intends to demonstrate that wireless devices can be an interesting option for the automation of buildings and residences. In several cases, the use of these devices can be a solution for some of the infrastructure problems and for the integration of the automation systems.

Keywords: building automation; wireless networks; wireless sensors; electric automation; industrial automation; intelligent buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Principais sistemas que compõem a automação de um edifício.....	22
Figura 2.2 – Tipos de sistemas de automação.	23
Figura 2.3 – Sistema de controle distribuído.	24
Figura 2.4 – Módulos de um Controlador Lógico-Programável.	26
Figura 2.5 – CLP – Controlador Lógico-Programável ou PLC – Programmable Logic Controller (SIEMENS SIMATIC S7-300).	27
Figura 2.6 – Sistema de ar condicionado no qual foi implementada a automação elétrica.	30
Figura 2.7 – Sistema parcial de controle de iluminação.	32
Figura 2.8 – Automação do sistema hidráulico (a). Sensores de nível instalados na caixa de água (b).	33
Figura 2.9 – Automação do sistema de alarme contra incêndio.	34
Figura 2.10 – Sistema biométrico de análise de impressão digital.	36
Figura 3.1 – Rede centralizada (estrela).	38
Figura 3.2 – Redes distribuídas.....	39
Figura 3.3 – Modelo em níveis de um sistema automatizado.....	43
Figura 3.4 – Esquema de cabeamento estruturado.	48
Figura 3.5 – Painel de cabeamento estruturado.	48
Figura 4.1 – Modelos de WLAN.	52
Figura 4.2 – Rede <i>wireless</i> com ponto de acesso.	53
Figura 4.3 – Rede <i>wireless</i> ad hoc.	54
Figura 4.4 – Conexão entre uma rede sem fio e uma rede convencional.	56
Figura 4.5 – <i>Scatternet</i> com 5 <i>piconets</i>	61
Figura 4.6 – Alcance da especificação dos padrões IEEE 802.15.4 e ZigBee.	63
Figura 4.7 – Equipamentos para redes IEEE 802.11b/g.	68
Figura 4.8 – Equipamentos para redes Bluetooth.	69
Figura 5.1 – Exemplo de aplicações de sensores <i>wireless</i>	72
Figura 5.2 – Rede de dados sem fio (WLAN) conectada à rede convencional (LAN).	74
Figura 5.3 – Diagrama funcional de um sensor <i>wireless</i>	75
Figura 5.4 – Diagrama funcional de um atuador <i>wireless</i>	75
Figura 5.5 – Circuito elétrico utilizando o circuito integrado CC2420 (transceptor ZigBee). .	76
Figura 5.6 – Uso de sensores e atuadores <i>wireless</i> na iluminação de ambientes.....	76
Figura 5.7 – Relação de consumo dos modos ativo e <i>sleep</i> de um sensor.....	78

Figura 5.8 – Relação de consumo durante a comunicação de dados com taxas diferentes.	79
Figura 5.9 – Consumo relativo ao número de comunicações.	79
Figura 5.10 – Rede de sensores e atuadores.	81
Figura 5.11 – Rede de sensores e atuadores <i>wireless</i>	82
Figura 5.12 – Rede ad hoc de sensores e atuadores.	83
Figura 5.13 – Exemplo de aplicação de redes sem fio em um edifício.	84
Figura 5.14 – Custo relativo de automação com e sem fios de um sistema de ar condicionado.	88
Figura 5.15 – Ambiente de escritório utilizando redes IEEE 802.11b (WI-FI) e Bluetooth. ...	90
Figura 6.1 – Exemplo de um sistema de ar condicionado com transmissores de temperatura sem fio.	93
Figura 6.2 – Diagrama em blocos de um transmissor de temperatura sem fio.	95
Figura 6.3 – Foto do protótipo de um transmissor de temperatura desenvolvido para teste. ...	95
Figura 6.4 – Diagrama em blocos de um receptor (ponto de acesso) que compõe um sistema de ar condicionado.	97
Figura 6.5 – Foto do protótipo de um receptor (ponto de acesso) desenvolvido para teste.	98
Figura 6.6 – Exemplo de fluxograma para estudo de um transmissor de temperatura sem fio.	100
Figura 6.7 – Exemplo de fluxograma de um receptor (ponto de acesso).	101
Figura 6.8 – Formato dos pacotes transmitidos pelo nRF2401.	102
Figura 6.9 – Formato dos pacotes de dados do canal serial (RS-232C).	104
Figura 6.10 – Curva característica de descarga de uma bateria alcalina de 9 V.	105
Figura 6.11 – Diagrama em blocos do sistema no modo de operação 1.	106
Figura 6.12 – Gráfico da corrente (tensão sobre resistor) de consumo do circuito no modo de operação 1.	107
Figura 6.13 – Detalhe do pulso da corrente no modo de operação 1.	108
Figura 6.14 – Diagrama em blocos do sistema no modo de operação 2.	109
Figura 6.15 – Interferência causada pela influência dos transmissores no modo de operação 2.	110
Figura 6.16 – Diagrama em blocos do sistema no modo de operação 3.	111
Figura 6.17 – Pacotes de dados durante as requisições e respostas dos transmissores no modo de operação 3.	112
Figura 6.18 – Intervalos de tempo reservados para cada transmissor (modo de operação 4).	113

Figura 6.19 – Detalhe da transmissão dos pacotes de dados durante o período reservado para cada transmissor.....	114
Figura 6.20 – Detalhe do sincronismo do transmissor para a recepção e transmissão de dados.	115
Figura 6.21 – Gráfico da corrente (tensão sobre resistor) durante a recepção e a transmissão de dados (modo de operação 4).	117
Figura 6.22 – Gráfico de consumo do transmissor pelo tempo de varredura no modo de operação 4.	120
Figura 6.23 – Gráfico do tempo de vida útil das baterias (NiMH – 3300 mA.h) pelo tempo de varredura no modo de operação 4.	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Protocolos mais comuns.	42
Tabela 3.2 – Protocolos utilizados nos níveis de gerenciamento, automação e campo.....	44
Tabela 4.1 – Faixas ISM.	51
Tabela 4.2 – Comparação entre algumas tecnologias <i>wireless</i>	67
Tabela 5.1 – Elementos a serem automatizados utilizando tecnologia <i>wireless</i>	71
Tabela 5.2 – Comparação de custos de um sistema com fio e o sistema sem fio.....	86
Tabela 6.1 – Valor de preâmbulo em função do primeiro bit do endereço.	103
Tabela 6.2 – Corrente e consumo durante a operação do transmissor.....	118
Tabela 6.3 – Resultados dos testes feitos no protótipo.	119

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	19
1.2 METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2 A AUTOMAÇÃO PREDIAL	21
2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS.....	22
2.1.1 Computador (Sistema Supervisório a Nível Gerencial)	25
2.1.2 Controladores (Nível de Sistema).....	26
2.1.3 Controladores (Nível de Campo).....	27
2.1.4 Redes de Comunicação de Dados (LAN's – <i>Local Area Networks</i>)	28
2.2 PRINCIPAIS SISTEMAS A SEREM AUTOMATIZADOS.....	29
2.2.1 Controle do Ar Condicionado.....	29
2.2.2 Controle da Iluminação.....	30
2.2.3 Controle de Bombas de Água	32
2.2.4 Controle do Alarme de Incêndio	33
2.2.5 Sistema de Segurança	35
2.2.6 Controle de Acesso.....	35
3 REDES UTILIZADAS NA AUTOMAÇÃO PREDIAL.....	38
3.1 MEIOS FÍSICOS UTILIZADOS NAS REDES	40
3.1.1 Cabos e Fios Metálicos	40
3.1.2 Fibra Óptica	41
3.1.3 Ar.....	41
3.2 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO.....	42
3.2.1 BACnet (<i>Building Automation and Control Network</i>)	44
3.2.2 EIB (<i>European Installation Bus</i>).....	45
3.2.3 LONWorks (LON – <i>Local Operating Network</i>).....	45
3.2.4 MODBus	46
3.2.5 PROFIBUS (<i>Process Field Bus</i>).....	46
3.3 CABEAMENTO ESTRUTURADO	47
4 REDES SEM FIO – “WIRELESS NETWORKS”	50
4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS.....	50

4.2 PADRÕES DE REDES <i>WIRELESS</i>	56
4.2.1 IEEE 802.11	57
4.2.2 IEEE 802.11a	57
4.2.3 IEEE 802.11b	58
4.2.4 IEEE 802.11g	59
4.2.5 Bluetooth	59
4.2.5.1 Características Técnicas do Bluetooth	60
4.2.6 ZigBee	62
4.2.6.1 Características Técnicas do ZigBee	64
4.2.7 Outras Tecnologias <i>Wireless</i>	65
4.3 ESTUDO COMPARATIVO DAS TECNOLOGIAS <i>WIRELESS</i>	66
4.4 EQUIPAMENTOS <i>WIRELESS</i>	68
5 USO DE REDES SEM FIO NA AUTOMAÇÃO PREDIAL	70
5.1 AUTOMAÇÃO PREDIAL USANDO REDES SEM FIO	71
5.1.1 Sensores e Atuadores Sem Fio (Transmissores Sem Fio)	74
5.1.1.1 Características dos Sensores e Atuadores Sem Fio	77
5.1.1.2 Rede de Sensores e Atuadores Sem Fio	80
5.2 EXEMPLOS DE AUTOMAÇÃO PREDIAL USANDO REDES SEM FIO	83
5.2.1 Custos Efetivos de Implantação de Redes de Sensores Sem Fio	85
5.2.2 Estações de Trabalho Sem Fio	89
5.2.2.1 Aplicações de Estações de Trabalho Sem Fio	90
5.3 SEGURANÇA EM REDES SEM FIO	91
6 ESTUDO DE CASO: EMPREGO DE DISPOSITIVOS SEM FIOS NA AUTOMAÇÃO DO AR CONDICIONADO	93
6.1 IMPLEMENTAÇÃO DO <i>HARDWARE</i>	94
6.1.1 Transmissor de Temperatura Sem Fio	94
6.1.2 Receptor Sem Fio	97
6.2 IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE (<i>FIRMWARE</i>)	99
6.2.1 Algoritmo do Transmissor Sem Fio	99
6.2.2 Algoritmo do Receptor	101
6.2.3 Protocolo de Comunicação RF	102
6.2.4 Protocolo de Comunicação do Canal Serial (RS-232C)	103
6.3 TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS	104

6.3.1 Bateria.....	105
6.3.2 Modo de Operação 1.....	106
6.3.3 Modo de Operação 2.....	109
6.3.4 Modo de Operação 3.....	111
6.3.5 Modo de Operação 4.....	113
6.4 CONCLUSÕES E FUTURAS IMPLEMENTAÇÕES	119
7 CONCLUSÕES.....	123
REFERÊNCIAS.....	125

1 INTRODUÇÃO

O conceito de automação surgiu na indústria com o objetivo de substituir a mão-de-obra humana por máquinas e sistemas de controle. O papel destas máquinas e sistemas era supervisionar e otimizar o controle dos processos, visando aumentar a produtividade e a qualidade dos produtos. A partir dos anos 80, a automação passou a ser utilizada em prédios e residências, proporcionando diversos benefícios, tais como: segurança, conforto pessoal e uso racional de energia.

Com a Automação Predial surgiu a idéia de edifício inteligente. De acordo com o *Intelligent Buildings Institute* (IBI), um edifício inteligente é aquele que oferece um ambiente produtivo e que é economicamente racional, através de otimizações dos seus quatro elementos básicos – estrutura, sistemas, serviços e gestão – e das relações entre eles. Os edifícios inteligentes ajudam os seus proprietários, gestores e ocupantes a atingir os seus objetivos sob as perspectivas de custo, conforto, adequação, segurança, flexibilidade e valor comercial (MARTE, 1995).

O conceito de inteligência é muito amplo e os aspectos abaixo destacados devem ser levados em consideração para a classificação de um prédio inteligente (NUNES; SÊRRO¹, 2005):

- A noção de “inteligência” deve estar presente durante todo o ciclo de vida do edifício, sendo particularmente importante nas fases de projeto e de concepção;
- Um edifício inteligente é “à prova de futuro”, no sentido de que deverá adaptar-se aos novos padrões de utilização e a novas necessidades;
- O conceito de edifício inteligente não se restringe aos edifícios de escritórios, podendo ser aplicado a outros edifícios tais como hospitais, edifícios educacionais, hotéis, espaços comerciais etc.;
- O grau de “inteligência” de um edifício não deve ser encarado como algo absoluto. A “inteligência” de um edifício está intimamente associada à forma como são satisfeitos os requisitos e as necessidades das organizações nele instaladas;

¹ NUNES, R.; SÊRRO, C. **Edifícios Inteligentes: Conceitos e Serviços**. Disponível em: <<http://mega.ist.utl.pt/~ic-eid/docs.htm>>. Acesso em: 03 de julho de 2005.

- Além dos aspectos de controle, automação e supervisão, deve-se dar ênfase também aos sistemas de informações e comunicações;
- Deve possuir local de trabalho agradável, onde as pessoas se sintam motivadas;
- Deve permitir que as pessoas que trabalham nele intervenham sobre o ambiente de trabalho, adequando-o às suas necessidades e preferências;
- Os vários sistemas presentes (associados à automação, às comunicações e ao processamento de informação) devem interagir e cooperar entre si, possibilitando novos graus de gestão e supervisão e um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis no edifício.

Dessa forma, pode-se afirmar que um edifício inteligente é aquele concebido e construído de forma a oferecer uma grande flexibilidade de utilização, dispondo da capacidade de evoluir, de se adaptar às necessidades das organizações e de oferecer, a cada momento, o suporte mais adequado à sua atividade. Por outro lado, deve possuir sistemas de automação, de computação e de comunicações que possibilitem, de um modo integrado e coerente, gerir de forma eficaz os recursos disponíveis, objetivando aumentos de produtividade, redução de consumo e oferecendo elevado grau de conforto e segurança aos indivíduos que nele trabalham.

Serviços como controle de iluminação, alarmes de incêndio, sistemas de ar condicionado, dentre outros, foram implementados nos edifícios inteligentes com o objetivo de melhor aproveitar os recursos e assim, reduzir custos de projeto e utilização (PINTO, 2000).

Além da redução de custos de energia, a automação predial também proporciona:

- Concordância com as obrigações ecológicas e ambientais;
- Redução no número de pessoal operacional;
- Flexibilidade da edificação e do sistema de controle da edificação;
- Melhoramento do controle e redução dos riscos de falhas;
- Fornecimento de um melhor ambiente e redução de custos de pessoal em geral;
- Operação do sistema de controle da edificação de forma amigável.

A integração dos serviços e sistemas que constituem um edifício moderno tornou ainda mais abrangente o conceito de edifício inteligente. A integração permite que diferentes

serviços possam ser controlados ou supervisionados por controladores locais ou por um centro de controle. Existem, ainda hoje, muitas dificuldades com relação à integração de sistemas utilizados em um prédio inteligente, pois cada fabricante especializa-se em um determinado conjunto de serviços e equipamentos de diferentes fabricantes que, muitas vezes, não são compatíveis. Com isso, cada fabricante cria sua própria solução, tornando a integração incompleta.

Hoje a tecnologia evolui e concentra esforços para integração dos sistemas, buscando a intercomunicação de controles isolados, trasladando as informações interdisciplinares necessárias e centralizando o gerenciamento de todo o complexo. Tudo isto, aliado à confiabilidade nos sistemas, face à larga experiência acumulada em anos de desenvolvimento tecnológico e ao sucesso pleno obtido nas suas execuções, faz com que a automação predial deixe de ser um diferencial, passando a ser uma necessidade exigida pelo mercado.

O mercado de equipamentos para a integração de sistemas de automação predial vem crescendo bastante. A complexidade desses sistemas exige que a automação seja prevista no projeto de um edifício inteligente, já que os custos para a instalação da automação com o edifício pronto são grandes. Assim, durante a etapa de projeto, os sistemas de automação devem ser especificados de modo a terem um certo grau de integração entre si. O uso de equipamentos e protocolos padronizados garante a integração dos sistemas.

Felizmente, a exigência do mercado por tecnologia fez crescer o uso de redes com protocolos consagrados e a automação caminha para a integração dos sistemas. Desta forma, prédios com setores isoladamente automatizados passaram a ser integrados em um sistema onde uma central de controle pode monitorar, controlar e gerenciar todos os setores, equipamentos e pessoas.

Prédios inteligentes já nascem com o conceito de automação e integração no projeto. Prédios já construídos possuem empecilhos que podem comprometer a instalação da automação e dos benefícios que ela traz. Normalmente nestes prédios não há um local previsto para a colocação de mais cabos e fios ou não existe a possibilidade de se modificar a infra-estrutura que a automação exige. É dentro desta perspectiva que a utilização de dispositivos sem fio na automação predial vem se tornando cada vez mais viável pelas vantagens da integração e facilidade de instalação.

1.1 OBJETIVOS

A integração dos sistemas que constituem um prédio inteligente vem sendo um grande desafio. Problemas de interconexão entre os sistemas ou de infra-estrutura das construções são os principais objetivos a serem alcançados. Este trabalho apresenta um estudo sobre a viabilidade do uso de transmissores sem fio na automação predial, que pode ser uma solução para o problema de infra-estrutura em prédios com baixo nível de automação ou construções que não podem ser modificadas (edifícios históricos, museus etc.). Assim, os objetivos deste trabalho são:

1. Construir um protótipo de um transmissor sem fio para a avaliação. Esse protótipo será utilizado na automação de um sistema de ar condicionado, mas poderá ser modificado e utilizado em outros sistemas;
2. Analisar o consumo de baterias e o custo do protótipo. Esses itens são importantes indicadores para a viabilidade do uso dos transmissores sem fio;
3. Criar modos de operação para que os transmissores sem fio possam trabalhar em uma rede de comunicação. Esta rede deve ser capaz de integrar-se aos outros sistemas que compõem a automação de um edifício.

1.2 METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO

As informações contidas neste trabalho foram obtidas em diversas fontes de pesquisa. As principais informações foram buscadas em publicações e dissertações sobre o tema, em *sites* da Internet ou em manuais de operação de fabricantes e junto a profissionais que atuam na área. Muitas informações sobre a tecnologia sem fio foram encontradas nos *sites* dos órgãos reguladores, através de normas e artigos técnicos. Informações sobre equipamentos e infra-estrutura foram encontradas em livros, revistas especializadas e *sites* de fabricantes.

O capítulo 2 apresenta as principais características da automação predial, conceituando os sistemas e mostrando os principais elementos a serem automatizados em um edifício inteligente. Este capítulo também apresenta a arquitetura dos sistemas em rede utilizada na automação predial.

O capítulo 3 apresenta os tipos de redes utilizadas na automação predial, bem como os meios físicos e os protocolos padronizados existentes. O objetivo deste capítulo é apresentar os modelos de redes que são utilizados atualmente como forma de comparação com os modelos de redes sem fio.

O capítulo 4 apresenta a tecnologia de transmissão de dados sem fio, apresentando os principais padrões e também algumas tecnologias proprietárias. Este capítulo também mostra alguns equipamentos sem fio encontrados no mercado que são utilizados para a implantação de redes de dados sem fio.

O capítulo 5 mostra como utilizar equipamentos com tecnologia sem fio em diversas áreas de um edifício inteligente. O capítulo apresenta exemplos de aplicações de redes de transmissores sem fio, comparando custos de implantação com redes convencionais. Também apresenta exemplos de uso de redes de dados sem fio em um edifício.

O capítulo 6 mostra o protótipo de um transmissor de temperatura sem fio utilizado na automação de um sistema de ar condicionado. O protótipo foi testado em vários modos de operação para avaliação do consumo das baterias, operação em rede e custo.

O capítulo 7 conclui sobre o uso de tecnologia sem fio, perspectivas de mercado, comparação de custos e sua aplicação na automação predial. Apresenta também uma previsão da redução de custos dos equipamentos sem fio com o crescimento do mercado da automação predial e residencial.

2 A AUTOMAÇÃO PREDIAL

O uso racional de energia elétrica, a segurança e o conforto dos usuários e a preocupação com o meio ambiente são fatores relevantes para o uso de tecnologias de automação aplicadas em edifícios. Os edifícios inteligentes são concebidos para causarem o mínimo impacto ambiental, com o menor consumo de energia possível e melhor aproveitamento dos recursos, além de proporcionar maior segurança e conforto para seus usuários (NUNES; SÊRRO, 2005).

A integração passou a ser uma exigência atual dos sistemas que compõem a automação predial. O projeto de automação deve prever, além dos sistemas básicos de controle e gerenciamento dos edifícios, as redes de dados, voz, multimídia, Internet etc.

O projeto de um edifício inteligente deve prever os equipamentos e o espaço físico utilizados para a automação de seus recursos. Os projetistas devem ter em mente quais tecnologias serão utilizadas e qual o espaço físico disponível para o uso dessas tecnologias. Dessa forma, os edifícios inteligentes devem ser capazes de se adaptarem às futuras tecnologias sem que haja uma modificação profunda em sua estrutura.

A automação é necessária e certamente será uma exigência do futuro. Assim, os prédios que ainda não tem seus sistemas automatizados logo os terão. Isso cria uma grande discussão porque nesses prédios não há infra-estrutura para conter a automação exigida. Deve-se, então, tomar uma decisão: modificar a estrutura do prédio ou construir outro prédio com tais exigências.

Algumas tecnologias podem facilitar a tomada de decisão como, por exemplo, as tecnologias *wireless*. Essas tecnologias estão disponíveis em sensores, equipamentos de controle e computadores e podem formar redes sem estrutura física permitindo que prédios antigos, ou mesmo pouco automatizados, possuam seus recursos interligados sem a necessidade de se modificar a estrutura física desses prédios.

A quantidade de elementos passíveis de automação em um prédio é enorme e a interligação desses elementos é uma tarefa difícil. Os principais sistemas a serem automatizados em um prédio são (MARTE, 1995):

- Ar condicionado;

- Iluminação;
- Detecção de incêndios;
- Segurança;
- Controle de acesso;
- Outros sistemas, como as instalações elétrica e hidráulica.

Figura 2.1 – Principais sistemas que compõem a automação de um edifício.

2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

A idéia fundamental de edifício inteligente está associada ao conceito de integração dos sistemas que compõem esse prédio. A interligação entre os sistemas permite que um Sistema de Supervisão e Controle do Edifício possa monitorar sensores, controlar atuadores e registrar eventos vindos de todas as partes do edifício.

Basicamente, a automação predial é responsável pelo gerenciamento das funções vitais do edifício e pelo controle de acesso e segurança dos indivíduos. Estas funções são independentes entre si, mas estão integradas através da central de controle e supervisão. Os

componentes da automação, distribuídos por todo o edifício, estão interligados por uma rede de comunicação de dados. Essa característica permite que todos os sistemas, autônomos ou não, possam se comunicar com a central de controle e supervisão (PINTO, 2000).

Figura 2.2 – Tipos de sistemas de automação.

O Sistema de Supervisão e Controle do Edifício é responsável por diversas ações, dentre as quais estão:

- A centralização das informações vindas de todas as partes do prédio, com o intuito de monitorar e controlar todas as funções operacionais do edifício;
- O controle automático dos equipamentos e a lógica de funcionamento dos sistemas;

- A economia de energia e a redução de custos através do uso racional dos recursos disponíveis e da energia elétrica;
- O fornecimento de ferramentas de software para a programação da manutenção preventiva dos equipamentos instalados;
- A tomada de providências visando sanar problemas funcionais, falhas ou alarmes.

A arquitetura de um sistema de supervisão e controle de um edifício é baseada em uma rede de equipamentos (processadores e controladores) (TYNEX, 1996; MARTE, 1995). Esta rede, chamada de Sistema de Controle Distribuído (DCS – *Distributed Control System*), é caracterizada pela topologia hierárquica, com vários níveis de controladores, conforme a mostra a Figura 2.3.

Figura 2.3 – Sistema de controle distribuído.

2.1.1 Computador (Sistema Supervisório a Nível Gerencial)

Toda a operação do sistema é feita através de computadores conectados à rede principal do edifício. Esse computador faz parte da Central de Operação e através de um software supervisório, com recursos gráficos e de apresentação amigável, o operador pode monitorar e controlar todas as operações vitais do edifício. A partir desse software o operador pode monitorar e gerenciar o sistema de ar condicionado, a iluminação, o consumo de energia elétrica, dentre outras funções (PINTO, 2000; MARTE, 1995).

Paralelamente, outro computador ou sistema deve estar conectado à rede para fornecer informações relacionadas à segurança dos indivíduos do edifício. Esse computador faz parte da Central de Operação da Segurança e recebe todas as informações sobre alarmes de incêndio, controle de acesso e invasão, monitoramento por câmeras de vídeo, dentre outras funções.

A Central de Operação tem como funções:

- Monitorar a temperatura, tensão, consumo (potência ativa e reativa) e outras grandezas analógicas;
- Gerar gráficos de tendência das grandezas medidas;
- Monitorar sensores, motores e outros dispositivos instalados;
- Controlar o ligamento e o desligamento de equipamentos, iluminação e outros circuitos;
- Programar datas e horários para controle automático de equipamento como, por exemplo, bombas de água;
- Ajustar, monitorar e reconhecer alarmes;
- Gerar relatórios periódicos de alarmes e outras falhas;
- Gerar relatórios periódicos de ações e operações no edifício.

2.1.2 Controladores (Nível de Sistema)

Os controladores de nível de sistema normalmente são representados por Controladores Lógico-Programáveis (CLP) ou por equipamentos dedicados que estão interligados entre si e também com a Central de Operação por meio da rede principal do edifício (PINTO, 2000; SOUSA, 2004).

Os controladores possuem entradas e saídas (digitais e analógicas) que recebem informações vindas dos sensores ou outros dispositivos e podem controlar máquinas e equipamentos. Esses controladores são instalados em locais definidos como zonas, centralizando todas as operações naquele local.

As entradas e saídas podem ser configuradas remotamente pela Central de Operação. Os sinais vindos das entradas digitais e analógicas são armazenados localmente nos controladores e esses sinais podem ser enviados via rede principal para a Central de Operação. A Central de Operação também pode enviar comandos para os controladores, determinando a operação ou ajuste de alguma variável de controle daquela zona. A Figura 2.4 mostra o diagrama de um controlador.

Figura 2.4 – Módulos de um Controlador Lógico-Programável.

A principal característica dos controladores é que eles podem atuar de maneira autônoma, isto é, independente do sistema central, característica também chamada de “inteligência distribuída”. Caso a rede principal não esteja disponível ou haja falha na Central de Operação, os controladores podem operar com todas as suas funções disponíveis, sem consequências graves para as operações vitais do edifício. A Figura 2.5 mostra um controlador.

Figura 2.5 – CLP – Controlador Lógico-Programável ou PLC – Programmable Logic Controller (SIEMENS SIMATIC S7-300).

Fonte: SIEMENS (2005)².

2.1.3 Controladores (Nível de Campo)

Os controladores de nível de campo são sistemas de pequeno porte, com poucas entradas e saídas (digitais e analógicas), utilizadas para o controle da iluminação, dos ventiladores e *dampers* do ar condicionado, das bombas de água etc. Também servem como extensões de entradas e saídas remotas dos controladores de nível de sistema. Podem ser representados por pequenos CLP ou controladores dedicados, com função específica (PINTO, 2000).

² SIEMENS. Disponível em: <<http://www.siemens.com.br/templates/produto.aspx?channel=32&produto=5921>>. Acesso em: 01 de julho de 2005.

Os controladores de nível de campo estão conectados aos controladores de nível de sistema por meio de uma rede secundária. Na falha da rede secundária ou do controlador de nível de sistema, o controlador de campo pode operar normalmente.

A configuração dos controladores de campo é feita na Central de Operação, que envia os comandos via controladores de nível de sistema.

2.1.4 Redes de Comunicação de Dados (LAN's – *Local Area Networks*)

O uso de redes de comunicação de dados permite a supervisão e o controle de todos os setores do edifício. O software supervisor instalado na Central de Operação tem acesso a todas as informações vindas dos sensores, podendo modificar a operação de qualquer equipamento e controlar quaisquer dispositivos conectados nos controladores (sistema ou campo).

Tipicamente existem, em uma automação predial, dois tipos de redes (PINTO, 2000):

- **Rede Principal** – que interliga todos os controladores de nível de sistema à Central de Operação. Essa rede é responsável pelo tráfego de informações de supervisão, monitoramento e controle do edifício dos controladores de campo e sistema para a Central de Operação. Assim, essa rede deve ter alta velocidade e confiabilidade. Um exemplo de rede muito utilizada com esta finalidade é o padrão Ethernet.
- **Rede Secundária** – que interliga todos os controladores de nível de sistema com os controladores de campo. Por meio dessa rede os controladores de campo podem enviar informações de sensores e podem receber comandos de controle de dispositivos vindos, indiretamente, da Central de Operação. Existem diversos padrões de comunicação para redes de campo e as redes padronizadas internacionalmente estão substituindo os padrões proprietários.

Equipamentos utilizados na automação, muitas vezes, não podem ser conectados diretamente à rede principal ou secundária. Isso acontece devido aos diferentes protocolos de comunicação ou diferentes meios de transmissão. Nesse caso são utilizados os conversores de protocolos e/ou *gateways*.

2.2 PRINCIPAIS SISTEMAS A SEREM AUTOMATIZADOS

A automação de um edifício inteligente é caracterizada pela integração de diversos sistemas. Os principais sistemas a serem automatizados em um edifício são: sistema de ar condicionado, iluminação, detecção de incêndio, bomba de água, controle de acesso e instalações elétricas e hidráulicas. A automação desses sistemas permite o gerenciamento de recursos e manutenção rápida de todos os dispositivos instalados no edifício, além de garantir o bem estar dos ocupantes do local (PINTO, 2000; SOUSA, 2004; NUNES; SÊRRO, 2005).

2.2.1 Controle do Ar Condicionado

O sistema de controle de ar condicionado responde por mais da metade da automação instalada em um edifício. Trata-se de um sistema onde a automação é necessária principalmente devido ao benefício direto com a economia de energia (ALVAREZ, 1998; PINTO, 2000).

A Figura 2.6 mostra um sistema de ar condicionado que controla a temperatura e umidade. Nesse caso, o controlador recebe as leituras analógicas de temperatura, fluxo de ar e umidade e aciona as saídas que controlam os *dampers* e ventiladores.

O controle desse sistema pode ser feito através de controladores individuais que atuam nos motores dos *dampers* com base na temperatura ambiente, na umidade e na pressão diferencial medida no duto. Esses controladores são ligados, via rede, aos sistemas de automação predial que monitoram em tempo real o desempenho do sistema de controle do ar condicionado e detecção de falhas.

A primeira função do condicionador de ar é providenciar o conforto térmico do ambiente, controlando a temperatura, umidade, pureza e distribuição do ar no sentido de propiciar conforto aos ocupantes do recinto condicionado.

O condicionador de ar consiste de um controlador de velocidade para os ventiladores de insuflamento e de retorno, três *dampers* para controle dos fluxos de ar externo, de expurgo e de mistura, serpentinas para resfriamento e aquecimento, vários sensores e atuadores. Consiste, também, de um controlador que recebe informações dos sensores e as transmite para as estações de operações que monitoram e gerenciam estas informações.

Figura 2.6 – Sistema de ar condicionado no qual foi implementada a automação elétrica.

Fonte: PINTO (2000).

2.2.2 Controle da Iluminação

O sistema de controle de iluminação tem como principal objetivo controlar e gerenciar a iluminação do edifício, visando aproveitamento da luz natural, diminuindo

consideravelmente o consumo de energia elétrica no edifício. O controle pode atuar definindo níveis de iluminação conforme o ambiente (salas de leitura, reunião, desenho etc.) e ligando ou desligando as luzes na presença ou ausência de pessoas no ambiente.

Em edifícios comerciais, a disponibilidade de luz natural coincide com o horário de trabalho, permitindo dispensar parte considerável da energia consumida em iluminação artificial. Para se tirar proveito da luz natural que entra nas salas de um edifício, vários fatores devem ser levados em consideração, tais como (MARTE, 1995):

- Geometria, cores, arranjo das salas e tipo de luminárias utilizadas;
- Tamanho, formato, transparência e localização das janelas;
- Recursos que permitem um melhor aproveitamento da iluminação natural como, por exemplo, anteparos e venezianas.
- Obstáculos, como morros, edifícios vizinhos etc., que influenciam na quantidade de luz que chega ao edifício.

Alguns desses fatores devem ser determinados numa fase bem inicial do projeto sendo, portanto, necessário trabalhar em conjunto com os arquitetos desde o começo. O desenvolvimento de ferramentas avançadas de computação para a simulação das condições da luz natural em edifícios abriu novos caminhos para o planejamento e a avaliação das condições de iluminação.

O ponto de partida para o controle de iluminação é a separação em setores, ou seja, a divisão dos pavimentos e áreas a serem iluminadas em zonas e intensidades de iluminação desejadas, em função de rigorosos critérios técnico-econômicos. O controle do nível de iluminação dos setores pode ser feito de forma escalonada, onde cada luminária é ligada ou desligada conforme a intensidade luminosa do ambiente. No caso do uso de iluminação para decoração e composição de ambientes, o controle da intensidade luminosa pode ser feito em cada lâmpada através de um circuito eletrônico (*dimmer*).

Figura 2.7 – Sistema parcial de controle de iluminação.

2.2.3 Controle de Bombas de Água

O sistema hidráulico do edifício inteligente pode ser monitorado através do controle de bombeamento da água. O controle monitora as fases e o estado do motor (ligado ou desligado), controla o número de horas de operação, liga as bombas de abastecimento e gerencia o consumo de água no edifício.

O sistema de controle pode ser programado para ligar as bombas de abastecimento somente à noite, evitando trabalhar nos horários de pico. Conforme mostrado na Figura 2.8, quando o nível de água estiver no mínimo, as bombas seriam acionadas até que o nível máximo seja alcançado. Esse procedimento normalmente é feito à noite.

Se durante o dia o nível de água no reservatório estiver abaixo do nível crítico, o controlador ligaria as bombas para abastecer o reservatório.

Figura 2.8 – Automação do sistema hidráulico (a). Sensores de nível instalados na caixa de água (b).

2.2.4 Controle do Alarme de Incêndio

O sistema de alarme contra incêndio é composto por centrais e repetidoras (controladores microprocessados) interligadas entre si. Os detectores (sensores) e acionadores manuais ou automáticos estão conectados a esses controladores. Dessa forma, se qualquer sensor detectar fumaça ou calor, a central de alarme de incêndio poderá localizar facilmente o setor afetado. O ajuste de sensibilidade dos sensores pode ser feito na própria central de alarme de incêndio.

Entre os principais detectores automáticos de incêndio podem ser citados os de fumaça (ópticos ou iônicos), que detectam a presença de particulado ou fuligem no ar, os termovelocimétricos, que detectam a variação de temperatura, e os de calor (SOUSA, 2004). Os sistemas convencionais prevêem supervisão de circuitos ou redes de monitoramento de incêndio (grupos com vários sensores).

Através da monitoração de chaves de fluxo na rede de *splinkers* é possível detectar o consumo de água nesta rede. Outras formas são a supervisão e controle sobre as bombas *jockey* (bomba secundária de incêndio) e bomba de hidrantes (bomba principal).

Atualmente, os antigos painéis indicadores de incêndio foram substituídos por centrais monitoradas que exibem, além da identificação do alarme, as plantas de localização deste e os procedimentos aplicáveis, tais como o ramal da brigada de incêndio daquele andar. Em um exemplo de aplicação de sistemas de automação interligados aos sistemas de detecção e alarme de incêndio é possível:

- Proceder ao desligamento da energia elétrica destes setores, impedindo que o ar condicionado ou curtos-circuitos na rede elétrica alimentem ainda mais o fogo;
- Posicionar os elevadores inicialmente no térreo ou andar mais recomendado para a fuga de eventuais ocupantes e posteriormente parar o elevador com as portas abertas e travadas;
- Através de luminosos e indicadores, estabelecer as rotas preferenciais de fuga, o que é denominado plano de abandono do local de trabalho;
- Executar a insuflação de ar nas escadas de emergência, impedindo que estas sejam invadidas pela fumaça.

Figura 2.9 – Automação do sistema de alarme contra incêndio.

2.2.5 Sistema de Segurança

O sistema de segurança deve garantir a vigilância das diversas áreas do edifício e impedir o acesso de pessoas não autorizadas. Esse sistema é constituído de sensores de presença, câmeras e outros dispositivos que visam o monitoramento e gravação das diversas áreas do edifício de modo a impedir invasões (NUNES; SÊRRO, 2005). Para tal, o sistema deve:

- Controlar o conjunto de câmeras do circuito interno (posicionamento, ampliação etc.) dos monitores de visualização e dos mecanismos de registro das imagens;
- Gerenciar as operações de ronda no edifício;
- Interagir com o sistema de controle de acesso com a finalidade de encontrar possíveis casos de intrusão;
- Agir de forma rápida e precisa no caso de emergências.

2.2.6 Controle de Acesso

O sistema de controle de acesso deve ser capaz de fornecer informações que garantam ou restrinjam o acesso dos usuários às diversas áreas do edifício. O controle do acesso das pessoas em um edifício pode ser feito por meio de sensores biométricos ou mesmo crachás codificados. Existem várias tecnologias que permitem a identificação pessoal e o acesso autorizado ao interior do edifício (MARTE, 1995; SOUSA, 2004). Este sistema tem como principais funções:

- Cadastrar as pessoas que terão acesso ao edifício e, no caso de ser um visitante, arquivar uma foto do visitante junto com os seus dados pessoais por um período de tempo determinado pela administração do edifício. Estas informações serão úteis, principalmente quando utilizadas em conjunto pelo sistema de segurança;

- Definir as zonas de acesso e atribuição de níveis de acesso, incluindo o acesso aos estacionamentos;
- Definir as durações dos acessos. Pessoas que trabalham no edifício podem ter seus acessos autorizados apenas nos horários determinados pelo seu contratante, dentre outras ações;
- Localizar pessoas. O sistema pode fornecer informações sobre a zona em que determinada pessoa se encontra;
- Registro dos acessos e tempo de permanência das pessoas nas dependências do edifício;
- Interagir com o sistema de segurança, fornecendo informações que permitam detectar e atuar em situações de emergência, como acessos não autorizados, duplo acesso, dentre outras funções.

Alguns sistemas de controle de acesso utilizam catracas que são liberadas por meio de crachás codificados. Os visitantes recebem os crachás após o cadastramento no balcão de entrada e este crachá permite o acesso a apenas alguns setores do edifício. Os crachás podem utilizar códigos de barras, furos ou circuitos eletrônicos. Os cartões com circuitos eletrônicos permitem o acesso por meio de senhas codificadas em um pequeno circuito integrado e a leitura pode ser feita por contato ou aproximação (por indução ou por radiofrequência).

O controle de acesso em edifícios inteligentes também pode ser feito por meio de sistemas biométricos (TEIXEIRA, 2005), conforme mostra a Figura 2.10. Esses sistemas são capazes de reconhecer e distinguir pessoas por suas características físicas, tais como voz, retina, íris, impressão digital, face, assinatura etc.

Figura 2.10 – Sistema biométrico de análise de impressão digital.

Fonte: <<http://www.whsisistemas.com.br/si/site/0030>>.

O sistema biométrico é constituído de um equipamento (sensor), que coleta a característica física da pessoa e de um software de computador que analisa essa característica e a compara com um banco de dados, validando ou não o acesso dessa pessoa. Por exemplo, no caso da impressão digital, o usuário deverá colocar seu dedo em um equipamento para análise da sua impressão digital. O software irá comparar a impressão digital com as impressões digitais em seu banco de dados e, se o usuário estiver cadastrado, haverá a liberação da catraca. Na verdade, o software realiza a comparação de algumas centenas de pontos (pontos-chave) da impressão digital analisada. Assim, o acesso pode ser feito sem o uso de cartões, crachás ou qualquer senha que possa ser utilizada por outra pessoa.

3 REDES UTILIZADAS NA AUTOMAÇÃO PREDIAL

A troca de informações entre os diversos equipamentos de um sistema automatizado é feita através da rede de comunicações chamada de *Local Area Network* (LAN) ou rede local. Essa rede de comunicação é baseada em padrões internacionais e pode ser implementada de duas formas diferentes: redes centralizadas ou redes distribuídas (LOWE, 1994; TORRES, 2001b; TANEMBAUM, 2003).

As redes centralizadas possuem uma arquitetura chamada de estrela, onde os elementos escravos são conectados diretamente ao elemento mestre. Esse tipo de rede é indicado nos casos onde os equipamentos ou sensores têm baixa taxa de comunicação. Com o aumento da taxa de comunicação, esse tipo de rede pode ter problemas de comunicação ou perda de pacotes de informações (sobrecarga do elemento mestre).

Figura 3.1 – Rede centralizada (estrela).

Por outro lado, as redes distribuídas ou geograficamente distribuídas, possuem elementos conectados entre si e também com o elemento mestre. O funcionamento desse tipo de rede não depende, necessariamente, da presença do elemento mestre e também o elemento mestre não precisa centralizar informações ou comandos. Os elementos que formam essa rede podem se comunicar entre si seguindo rotas menos congestionadas, evitando falhas de

comunicação ou da rede. Dependendo da arquitetura as redes distribuídas podem ser (TORRES, 2001; SOUSA, 2004):

- **Rede em malha:** os elementos que formam essa rede estão conectados diretamente em si e cada elemento pode enviar ou receber dados de outros elementos por diversas rotas sem passar pelo elemento mestre;
- **Rede em anel:** os elementos estão conectados em um canal de comunicação fechado e os dados trafegam por todos os elementos da rede;
- **Rede com barramento:** todos os elementos estão conectados a um canal de comunicação chamado barramento (*bus*) e os dados trafegam por todos os elementos da rede.

Figura 3.2 – Redes distribuídas.

Fonte: SOUSA (2004).

3.1 MEIOS FÍSICOS UTILIZADOS NAS REDES

As redes de comunicação geograficamente distribuídas são largamente utilizadas em sistemas de automação predial e residencial. O projeto desse tipo de rede deve levar em conta tanto a tecnologia dos equipamentos que serão conectadas a ela quanto o meio físico a ser utilizado. A qualidade do meio físico, principalmente dos cabos, é o ponto crucial para o perfeito funcionamento da rede.

Os meios físicos podem ser cabo, fibra óptica ou ar. Cada um deles possui suas próprias características, com vantagens e desvantagens.

3.1.1 Cabos e Fios Metálicos

Os cabos e fios metálicos são os mais usados devido ao baixo custo e a facilidade de instalação. Os cabos e fios metálicos ainda podem ser³ (MEUCCI, 2005):

- **Cabo Coaxial:** possui um condutor metálico interno e uma malha condutora externa e podem operar tanto com sinais de dados, áudio e vídeo. Por ter características capacitivas, o cabo coaxial não é utilizado em redes longas ou com taxas de comunicação elevadas;
- **Par Trançado:** os fios formam um par de condutores enrolados entre si. Também podem ser agrupados em diversos pares, com ou sem malha de aterramento. Os cabos com par trançado são simples de instalar, com menor custo e podem alcançar altas taxas de transmissão. Cabos sem malha aterrada têm maior probabilidade de apresentar problemas de interferências eletromagnéticas.

³ MEUCCI, D. J. **Tipos de cabeamento.** Disponível em: <http://www.portaldaautomacao.com.br/artigo_011.asp>. Acesso em: 29 de abril de 2005.

3.1.2 Fibra Óptica

A fibra óptica é constituída de um material de sílica e plástico que conduz a luz infravermelha utilizada para transmissão de dados em alta velocidade. A transmissão de dados é feita por meio de diodos emissores de luz (LED) ou lasers semicondutores. As redes com fibras ópticas possuem diversas vantagens: alta velocidade de transmissão de dados, confiabilidade, imunidade a interferências eletromagnéticas e radiofrequência, dentre outras.

O custo da instalação de redes com fibras ópticas é maior do que com redes feitas com cabos metálicos. Redes com fibras ópticas são indicadas em locais onde o tráfego de dados é grande (Internet, videoconferência etc.).

3.1.3 Ar

Redes sem fio utilizam o ar como meio de transmissão. A transmissão pode ser feita por meio de luz infravermelha ou por ondas eletromagnéticas (RF – radiofrequência). No caso da luz infravermelha, os sinais são modulados por diodos emissores de luz através do ar até um fotorreceptor, que recebe os sinais ou dados transmitidos. A principal desvantagem é que o transmissor deve estar sempre apontado para o receptor.

A transmissão de dados por radiofrequência tem a vantagem de não ser direcional, ou seja, o transmissor não precisa apontar para o receptor. O alcance depende do local onde a rede será instalada, a taxa de comunicação não é elevada e ainda existem problemas de interferência eletromagnética produzida por outros equipamentos e obstáculos (paredes, por exemplo). A principal vantagem das redes RF é a não utilização de cabos ou infra-estrutura, o que torna esse tipo de rede mais fácil de ser implementada.

3.2 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Os protocolos de comunicação podem ser comparados a uma linguagem que diferentes equipamentos devem utilizar para que haja a comunicação entre eles. Os protocolos de comunicação existentes podem ser classificados em padronizados ou proprietários. A tendência atual do mercado é a utilização de protocolos padronizados internacionalmente, já que automação cresce no sentido da integração de sistemas autônomos. Os protocolos mais utilizados na automação predial e residencial são: BACnet, EIB, LONWorks, MODBus, PROFIBUS, dentre outros (MARTE, 1995; PINTO, 2000; BETTONI, 2005b⁴).

Tabela 3.1 – Protocolos mais comuns.

Protocolo	Aplicação	Desenvolvido por
BACnet	Edifícios	ASHRAE committee
EIB	Edifícios	Siemens
LONWorks	Residências e Edifícios	Echelon
MODBus	Indústrias e Edifícios	Modicon (Schneider)
PROFIBUS	Indústrias e Edifícios	Siemens

Protocolos de comunicação abertos estão sendo usados para a integração de equipamentos de diferentes fabricantes. Diversas são as vantagens:

- Rede compartilhada onde sistemas de diferentes fabricantes podem utilizar os mesmos cabos de comunicação;
- Interconexão de diferentes serviços, tais como iluminação, ar condicionado, controle de acesso, etc.;
- Centralização das operações, onde todos os serviços podem ser visualizados por um software de usuário colocado em qualquer ponto da rede;

⁴ BETTONI, R. L. **Controle em edifícios inteligentes.** Disponível em: <http://www.portaldaautomacao.com.br/artigo_013.asp>. Acesso em: 29 de abril de 2005.

- Facilidade de expansão da automação, independente de fornecedor.

Com relação à organização, as redes de comunicação entre os sistemas de automação de um edifício podem ser divididas em três tipos:

- **Nível de gerenciamento** – as redes deste nível realizam a comunicação entre estações de trabalho;
- **Nível de controle ou automação** – neste nível, as redes realizam a comunicação entre controladores e estações de trabalho;
- **Nível de campo** – as redes de nível de campo realizam a comunicação entre as unidades de controle, sensores, atuadores, etc.

A interface entre os níveis pode ser feita através de *gateway* (conversores de protocolo) e/ou roteadores.

Figura 3.3 – Modelo em níveis de um sistema automatizado.

O mercado da automação cresce no sentido da integração dos equipamentos de diferentes fabricantes. Para garantir a integração entre diferentes equipamentos e seus protocolos, um

protocolo unificado deverá ser elaborado agrupando as principais características dos protocolos existentes. Esse protocolo deverá ser compatível com o EIB e incluirá funções “*plug and play*”. A

Tabela 3.2 apresenta os principais protocolos utilizados em sistemas de automação predial.

Tabela 3.2 – Protocolos utilizados nos níveis de gerenciamento, automação e campo.

Fonte: <<http://esta.kiwi.co.uk/groups/BCG/library/ocp.asp>>.

Nível	Protocolo	Meio de Transmissão
Gerenciamento	BACnet	Ethernet – todos os meios PSTN / dial up modem – par trançado
Automação	PROFIBUS	PROFIBUS FMS – par trançado
	BACnet	Ethernet – todos os meios LONtalk – todos os meios
	EIB	Ethernet – todos os meios
Campo	EIB	Par trançado
	LONtalk	Par trançado, rádio etc.

3.2.1 BACnet (*Building Automation and Control Network*)

O BACnet é um protocolo padrão desenvolvido pela *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) para ser utilizado na automação predial. O BACnet pode operar em vários meios de transporte: RS485 (até 1Mbit/s), RS232, Ethernet (até 10Mbit/s – mais usado em redes prediais), LONtalk e mais recentemente TCP/IP (BETTONI, 2005b).

O BACnet permite que vários equipamentos utilizados na automação predial sejam conectados em rede para que haja a transferência de dados binários codificados, valores

analógicos e alfanuméricos entre eles. O protocolo BACnet é usado em computadores de sistemas completos, em controladores de uso geral, em controladores específicos e sensores e atuadores inteligentes. Tipicamente, ele é utilizado no monitoramento e controle de ar condicionado e ventilação, iluminação e outros sistemas.

3.2.2 EIB (*European Installation Bus*)

O EIB é um protocolo inicialmente desenvolvido pela Siemens para a indústria e atualmente conta com 85 empresas parceiras conhecidas como EIB Association (EIBA). Esse protocolo é utilizado em equipamentos de controle de iluminação, ar condicionado e ventilação de edifícios inteligentes. O meio físico por ser um par trançado transmitindo a uma taxa de 9600 bits/s e os cabos também podem conduzir a alimentação. Atualmente o padrão também opera sobre o protocolo Ethernet (10 Mbits/s) (PINTO, 2000).

O endereçamento permite a conexão de até 65536 pontos. O protocolo EIB foi concebido para operar em redes muito grandes, mas com pequenas transferências de dados, tais como iluminação, detectores de fogo e fumaça etc.

3.2.3 LONWorks (LON – *Local Operating Network*)

O LONWorks foi desenvolvido pela Echelon Corporation para redes interoperáveis de controle. As redes LONWorks são formadas por dispositivos inteligentes conectados entre si e podem utilizar as linhas de energia, cabos e fios metálicos, fibras ópticas e ar para transmissão. Todos os dispositivos conectados à rede possuem um microprocessador chamado NeuronChip, que tem por função garantir o processamento de informações e a comunicação entre os dispositivos. O NeuronChip é fabricado pela Toshiba e o protocolo de comunicação

entre esses microprocessadores é o LONTalk. O LONTalk pode utilizar qualquer meio de transmissão, inclusive o par trançado, chegando a uma taxa de 1,25 Mbits/s (PINTO, 2000).

A tecnologia LONWorks pode operar até 32000 elementos, sendo indicada para uso em grandes edifícios, plataformas petrolíferas, controle aéreo etc. A tecnologia se destaca pela operabilidade, integração com outros sistemas, robustez e rápido desenvolvimento das redes.

3.2.4 MODBus

O protocolo MODBus foi desenvolvido por volta de 1970 pela empresa Modicon (Gould Modicon Company) para ser utilizado na indústria. Como a automação predial herdou os equipamentos (PLC – *Programmable Logic Controllers* – CLP – Controladores Lógico-Programáveis) da indústria, o MODBus também passou a ser utilizado na automação predial.

O MODBus é um protocolo baseado na concepção Mestre/Escravo e permite uma rede com até 247 elementos. Por ser um protocolo flexível, o MODBus pode ser utilizado em várias aplicações, tais como o controle de ar condicionado e ventilação, medição de parâmetros elétricos (tensão, corrente e potência), controle de iluminação e incêndio. O MODBus pode ser implementado usando RS232, RS485 ou mesmo fibra óptica e rádio.

3.2.5 PROFIBUS (*Process Field Bus*)

O PROFIBUS foi desenvolvido em 1987 pela Siemens. O protocolo PROFIBUS utiliza o par trançado (RS485) com uma taxa de até 1,5 Mbits/s e o comprimento dos cabos pode chegar a 1200 metros. O PROFIBUS permite que até 32 elementos estejam conectados à rede.

3.3 CABEAMENTO ESTRUTURADO⁵

O conceito de automação predial começou com os grandes edifícios a partir dos anos 60 do século passado. Nessa época, não existia um padrão para a montagem do sistema de cabeamento e o projeto de automação era um conjunto de soluções proprietárias executadas por diversas empresas.

Uma construção que não possua uma infra-estrutura adequada para permitir o funcionamento de seus sistemas em conjunto, em pouco tempo se tornará obsoleta. Os sistemas e aplicações devem ter um sistema de cabeamento que atendam as necessidades do usuário.

Nos dias de hoje, com a grande quantidade de sistemas automatizados incorporados nos edifícios, houve a necessidade de uma infra-estrutura de cabeamento que pudesse suportar as tecnologias atuais e permitir a expansão para futuras aplicações de telecomunicações e controle predial.

O projeto de automação predial deve possuir uma estrutura capaz de suportar todos os equipamentos de controle e monitoramento (sensores, atuadores etc.), de dados, voz e imagens. Deve também fornecer serviços de automação que garantem o bem estar e conforto dos ocupantes do edifício.

Assim, os projetos de automação passaram a utilizar uma infra-estrutura baseada em normas técnicas para o cabeamento estruturado, o que permitiu uma conectividade entre diferentes sistemas. A padronização também permitiu que a automação de um edifício pudesse atender as exigências do mercado por novos equipamentos e serviços, possibilitando ainda a atualização dos equipamentos e sistemas do edifício.

⁵ CABEAMENTO estruturado: o ponto de partida para a automação residencial. Disponível em: <http://www.portaldaautomacao.com.br/projeto_002.asp>. Acesso em: 29 de abril de 2005.

Figura 3.4 – Esquema de cabeamento estruturado.

Fonte: <http://www.portaldaautomacao.com.br/projeto_002.asp>.

Figura 3.5 – Painel de cabeamento estruturado.

Fonte: <http://www.flexeditora.com.br/boston_cabling.asp>.

Tipicamente, um sistema de cabeamento estruturado pode conter:

- **Cabos para telecomunicações** – cabos telefônicos (categoria 5e) contendo 4 pares de fios trançados. Esses cabos podem ser ligados em qualquer telefone, fax ou computador.
- **Cabos para vídeo** – cabos coaxiais de qualidade para prover ligações de câmeras, equipamentos de TV ou videocassete.
- **Cabos para áudio** – cabos com fios trançados para intercomunicação ou cabos blindados para comunicação entre ambientes.
- **Cabos de dados** – cabos coaxiais ou fios trançados para redes. A rede pode interligar os computadores pessoais ou mesmo os equipamentos de controle e monitoramento do edifício.

Outros tipos de cabos podem ser conectados ao painel com o objetivo de facilitar a manutenção dos sistemas de automação do edifício, conforme a Figura 3.5.

4 REDES SEM FIO – “*WIRELESS NETWORKS*”

Aplicações de sistemas sem fio vêm crescendo bastante nos últimos anos, tanto na indústria, na construção civil, no comércio e em outros setores. Trata-se de uma opção tecnológica muito interessante e que pode se tornar uma tendência futura, principalmente nas automações predial, residencial e industrial.

Mesmo sendo uma tendência, muitas empresas de automação têm receio de utilizar tecnologias de comunicação sem fio pelo fato de muitas dessas tecnologias serem proprietárias ou ainda não foram padronizadas. Apesar disso, as redes sem fio de curta distância estão tornando-se uma opção bastante atrativa para a automação predial. Os custos de obra civil e *retrofitting* são elevados em prédios que não estão preparados para a automação e esses custos podem ser minimizados com o uso de tecnologia *wireless*.

O crescimento das *Wireless Local Area Network* (WLAN) acompanha o crescimento das redes de telefonia celular. As redes *wireless* estão se tornando cada vez mais rápidas, mais confiáveis e mais baratas e o seu uso na automação predial promete inúmeras vantagens, tais como redes flexíveis, instalação rápida e mobilidade das unidades da rede, além da principal vantagem: não utiliza cabos elétricos ou qualquer outra ligação física.

4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

As redes locais sem fio utilizam faixas de frequência de rádio não licenciadas. Essas faixas de frequências especiais foram liberadas pelos órgãos reguladores (*International Telecommunications Union* – ITU) e nenhuma licença é exigida para seu uso. O problema do uso dessas frequências é a interferência causada por diversos equipamentos e por isso a transmissão desses dispositivos fica restrita a cerca de algumas centenas de metros (MILLER, 2001; DORNAN, 2001).

A principal faixa de frequências não licenciada é a *Industrial, Scientific and Medical* (ISM). Essa faixa de frequências está reservada para equipamentos que emitem radiação de microondas, tais como fornos microondas e aparelhos médicos, e não estava destinada à comunicação. Mesmo assim, os fabricantes de equipamentos sem fio utilizam essa faixa de frequência para a comunicação em redes sem fio de pequeno alcance.

As faixas ISM foram adotadas pelo *European Telecommunications Standardisation Institute* (ETSI) e pelo *Federal Communication Commission* (FCC) para a comunicação sem fio e os equipamentos que utilizam essas faixas devem seguir regulamentações para serem utilizadas na Europa, nos Estados Unidos, na Ásia ou América Latina, sem a necessidade de licenças. A Tabela 4.1 mostra as faixas de frequências determinadas para as faixas ISM.

Tabela 4.1 – Faixas ISM.

Fonte: DORNAN (2001).

Banda	Frequências FCC	Frequências ETSI	Utilização
ISM 900	902-928 MHz	890-906 MHz	Processamento de Alimentos
ISM 2,4	2,4-2,4835 GHz	2,4-2,5 GHz	Forno de Microondas
ISM 5,8	5,725-5,850 GHz	5,725-5,875 GHz	Scanners Médicos

As WLAN (*Wireless LAN*) utilizam equipamentos que se comunicam entre si através de sinais de rádio. Essa característica torna a WLAN especialmente útil por não utilizar conexões físicas entre os elementos da rede. Assim, as WLAN podem ser facilmente administradas e são mais flexíveis do que sistemas que utilizam cabos.

A flexibilidade dos pontos da WLAN, ou seja, a possibilidade de se movimentar em um escritório ou sala dentro de um prédio sem perder a conexão com a rede é um dos pontos fortes para o uso de redes *wireless* na automação predial. Apesar dos edifícios inteligentes já serem construídos com cabos de redes instalados (cabeamento estruturado), muitas vezes o acréscimo de mais pontos de redes ou mesmo modificações de *layout* do escritório podem causar muitos transtornos.

O crescimento do uso de *laptops* e telefones celulares permitiu que as pessoas deixassem as mesas de escritório e pudessem se movimentar pelo prédio. O principal

empecilho era a velocidade dos dados porque as WLAN são mais lentas do que as LAN com fios. Com o avanço da tecnologia, as WLAN estão se tornando cada vez mais rápidas permitindo o tráfego de dados, voz e imagem.

As WLAN podem ser estabelecidas com o uso de uma placa *wireless* instalada nos dispositivos da rede (DORNAN, 2001). Os modelos de redes podem ser *ad hoc* ou *celular* (via ponto de acesso).

- **Redes Ad Hoc** – Modelo de rede onde não há infra-estrutura. A conexão é feita diretamente entre os usuários da rede. Este modelo de rede é mais dinâmico devido à mobilidade dos nós (usuários) da rede.
- **Redes Celulares (Ponto de Acesso)** – Modelo de rede onde existe uma infra-estrutura que depende de um ponto de acesso. O ponto de acesso é colocado em um ponto estratégico da rede e todos os elementos se conectam a esse ponto de acesso.

Os modelos de redes WLAN podem ser vistos na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Modelos de WLAN.

O modelo com ponto de acesso utiliza um ponto de acesso que atua como um mediador nas comunicações entre os outros nós, conforme mostra a Figura 4.2 (NORDIC SEMICONDUCTOR, 2005a).

Figura 4.2 – Rede *wireless* com ponto de acesso.

Fonte: NORDIC SEMICONDUCTOR (2005a).

Um exemplo de comunicação entre dois dispositivos da rede é mostrado a seguir:

- N4 vai enviar informações para N1;
- N4 envia um pacote de dados para NC, requisitando confirmação;
- N2 e N3 ignoram o pacote;
- NC recebe a requisição enviada por N4 e transmite uma confirmação endereçada a N4;
- N1, N2 e N3 ignoram a transmissão de NC;
- N4 se identifica como receptor da transmissão de NC e completa a comunicação;
- NC retransmite os dados para N1 dependendo do caso não haverá atraso;
- N1 se identifica como receptor da transmissão de NC e envia uma confirmação endereçada a NC;
- N2 e N3 ignoram a transmissão de N1;
- NC se identifica como receptor de N1 e completa a comunicação.

O modelo de rede ad hoc não utiliza um ponto de acesso e a comunicação é feita diretamente entre os nós. Se um nó não conseguir “enxergar” outro diretamente, a informação é transferida para os nós próximos, que se encarregarão de repassar a informação ao seu destino. A Figura 4.3 mostra este modelo.

Figura 4.3 – Rede *wireless* ad hoc.

Fonte: NORDIC SEMICONDUCTOR (2005a).

Um exemplo de comunicação entre dois dispositivos dessa rede é mostrado a seguir:

- N4 vai enviar informações para N1;
- N4 envia um pacote de dados para N1, requisitando confirmação;
- N1 está fora do alcance de N4. Os nós N2 e N3 recebem os pacotes;
- N2 e N3 identificam que o endereço do destinatário é outro nó;
- N2 e N3 retransmitem o pacote de dados e gravam a identificação do pacote para evitar retransmissões;
- N4 recebe o pacote de dados retransmitido de N2 e N3 e descarta os pacotes repetidos;
- N1 recebe um pacote retransmitido de N2 ou N3, dependendo de qual dos dois retransmitiu primeiro;
- N1 se identifica como receptor da transmissão e envia um pacote de dados endereçado a N4;
- N1 recebe o segundo pacote retransmitido por N2 ou N3 e o ignora;

- N2 e N3 recebem a confirmação de N4, já que N1 está fora do alcance de N4;
- N2 e N3 identificam que o endereço do receptor é outro nó;
- N2 e N3 retransmitem a confirmação para N4;
- N1 recebe a confirmação retransmitida e descarta as retransmissões;
- N4 recebe a confirmação de N2 ou N3, dependendo de qual dos dois nós retransmitiu primeiro;
- N4 se identifica como receptor da confirmação e completa a comunicação com N1;
- N4 recebe a segunda confirmação retransmitida e a descarta.

As redes *wireless* ad hoc normalmente são utilizadas em aplicações móveis ou em ambiente com obstáculos. A busca de caminhos alternativos para que os nós possam se comunicar, mesmo estando fora do raio de ação, é uma das principais características das redes ad hoc.

As redes ad hoc também podem operar através de tabelas de conexões, ou seja, os nós têm a capacidade, a todo instante, de aprender quais nós fazem parte da rede e essas informações são armazenadas em tabelas em cada nó. Assim, se algum elemento quiser enviar dados a outro, ele irá verificar em sua tabela qual o menor percurso até o destino. O tráfego de dados na rede é menor e o atraso dos pacotes é pequeno.

As redes sem fio também podem ser utilizadas em conjunto com redes convencionais (com fios). Neste caso, a infra-estrutura da rede convencional pode ser utilizada para a comunicação de dados e informações de alta velocidade e a rede sem fio pode ser utilizada para a ligação de equipamentos com baixa taxa de transmissão ou em locais onde a colocação de fios e cabos é restrita. A Figura 4.4 mostra uma rede sem fio conectada a uma rede convencional.

Figura 4.4 – Conexão entre uma rede sem fio e uma rede convencional.

4.2 PADRÕES DE REDES WIRELESS

O surgimento da tecnologia *wireless* aconteceu quando fabricantes de equipamentos de comunicação dos Estados Unidos lançaram diferentes dispositivos com essa tecnologia. A falta de uma padronização inicial fez com que equipamentos de diferentes fabricantes fossem incompatíveis entre si. Assim, as redes *wireless* deixaram de ser uma opção devido ao receio que os usuários tinham por um sistema proprietário.

Com o objetivo de resolver a questão de incompatibilidade entre dispositivos de diversos fabricantes, o *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) e o *European Telecommunications Standardisation Institute* (ETSI) desenvolveram vários padrões para redes locais sem fio (DORNAN, 2001).

Atualmente existem diversos padrões de comunicação sem fio, proprietários ou não. Duas ou mais tecnologias podem ocupar o mesmo ambiente e os usuários não precisam ficar “amarrados” a uma única solução. As questões sobre coexistência estão sendo discutidas pelo grupo de trabalho 802.15.2 do IEEE. Empresas fabricantes de componentes *wireless*, dentre elas a Texas Instruments, também estão empenhadas em desenvolver componentes que possam suportar várias tecnologias sem fio, dando mais liberdade de escolha ao usuário final.

4.2.1 IEEE 802.11

O IEEE 802.11 foi o primeiro padrão a ser definido e utiliza como referência os protocolos da Ethernet convencional. O objetivo desta norma é apresentar uma especificação para o controle de acesso médio (MAC – *Medium Access Control*) e a camada física (PHY – *Physical Layer*) para a conexão sem fios entre estações fixas, portáteis e móveis dentro de uma área local.

Na verdade, o IEEE 802.11 possui duas versões. A versão mais simples utiliza a tecnologia FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum* – Alargamento de Banda de Salto de Frequência), onde os sinais transmitidos saltam por 79 frequências diferentes separadas por intervalos de 1 MHz, várias vezes por segundo. Assim, mesmo que haja interferência em algumas frequências, as demais provavelmente estarão livres para comunicação. A taxa de comunicação chega a 1 Mbps.

A versão mais complexa utiliza a tecnologia DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum* – Alargamento de Banda de Sequência Direta), onde os dados são transmitidos em várias frequências ao mesmo tempo juntamente com um sinal semelhante a um ruído aleatório. A técnica permite que os dados possam chegar ao destinatário com relativa segurança e com menor problema de interferência. O ruído é calculado de tal forma que possa ser eliminado depois da transmissão através de métodos semelhantes ao fenômeno de interferência destrutiva de ondas. A taxa de comunicação chega a 2 Mbps (MILLER, 2001; TORRES, 2001a; TORRES, 2001b).

4.2.2 IEEE 802.11a⁶

⁶ IEEE. **Part 11a: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: High-speed physical layer in the 5 GHz band.** Disponível em: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11a-1999.pdf>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2005.

O padrão IEEE 802.11a opera numa faixa de frequências de 5 GHz, chegando a 54 Mbps, cinco vezes mais rápida do que o padrão IEEE 802.11b (11 Mbps). A potência varia de 50 mW a 800 mW.

O padrão IEEE 802.11a utiliza o OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais). Essa técnica consiste em dividir o canal de transmissão em vários canais, cada um com uma portadora diferente. Essas características, incluindo a frequência de operação, fazem do padrão IEEE 802.11a incompatível com os padrões IEEE 802.11b/g, que são os mais utilizados.

4.2.3 IEEE 802.11b⁷

O padrão IEEE 802.11b opera na frequência de 2,4 GHz e utiliza a técnica de modulação DSSS. A capacidade de transmissão chega a 11 Mbps, comparável ao padrão Ethernet. O IEEE 802.11b também é conhecido como Wi-Fi (*Wireless Fidelity* – Fidelidade Sem Fio). As principais vantagens do padrão IEEE 802.11b são (MILLER, 2001):

- Alta taxa de transmissão (11 Mbps);
- Conexões confiáveis;
- Facilidade de integração com redes Ethernet;
- Longo alcance (até 100 metros, sem obstáculos).

O IEEE 802.11b é bastante indicado para uso em escritórios e prédios. Seu alto custo dificulta o uso em ambientes residenciais. Algumas desvantagens do padrão:

- Alto custo de implementação;
- Exige pontos de acesso;
- Dificuldade de configuração e manutenção;
- Não possui suporte para voz e telefonia.

⁷ IEEE. **Part 11b: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: High-speed physical layer extension in the 2.4 GHz band.** Disponível em: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11b-1999.pdf>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2005.

4.2.4 IEEE 802.11g⁸

O padrão IEEE 802.11g utiliza frequência de 2,4 GHz, chegando a 54 Mbps através da técnica de modulação OFDM. O IEEE 802.11g é compatível com o padrão IEEE 802.11b.

4.2.5 Bluetooth⁹

Originalmente, o Bluetooth começou a ser desenvolvido pela Ericsson em 1994. O projeto era destinado à comunicação sem fios de baixo consumo entre telefones móveis e acessórios. A partir de 1998, a Ericsson se juntou com outras empresas (Nokia, Intel, Toshiba e IBM) e formou o *Special Interest Group* (SIG) do Bluetooth com o objetivo de desenvolver um padrão aberto de comunicação sem fios (DORNAN, 2001; MILLER, 2001).

O fato de ser um padrão aberto garantiu o sucesso imediato do Bluetooth e em menos de dois anos o SIG recebeu mais de 2000 novos membros. Outro ponto forte do Bluetooth é o uso da tecnologia por meio de licenças sem o pagamento de taxas ou direitos autorais. Curiosamente, o nome Bluetooth é uma referência ao rei viking Harald Bluetooth, que unificou a Dinamarca e a Noruega, no século X (MILLER, 2001).

O principal objetivo das empresas que desenvolveram o Bluetooth é a criação de um dispositivo de rádio em um único chip, com baixo custo (menos de 5 dólares), com baixo consumo, com alcance de 10 metros e transferência de dados em torno de 720 kbps. O baixo custo e o baixo consumo são importantes porque esse rádio será implementado em diversos aparelhos, inclusive equipamentos portáteis.

De acordo com os fabricantes, os equipamentos Bluetooth criarão uma nova modalidade de redes: a PAN (*Personal Area Network* – Rede Pessoal), onde as pessoas irão

⁸ IEEE. **Part 11g: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Amendment 4: Further higher data rate extension in the 2.4 GHz band.** Disponível em: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11g-2003.pdf>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2005.

⁹ BLUETOOTH. Disponível em <<http://www.bluetooth.org>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2005.

interagir com dispositivos eletrônicos em casa ou no ambiente de trabalho. Esses dispositivos podem ser telefones, sistemas de segurança, computadores pessoais etc.

O Bluetooth foi homologado pelo IEEE através da norma 802.15.1. O IEEE 802.15.1 define as especificações da camada física (PHY) e da subcamada de controle de acesso ao meio (MAC) para a conexão sem fio entre dispositivos fixos, portáteis e móveis com um alcance de aproximadamente 10 m. O objetivo do grupo de trabalho IEEE 802.15.1 é alcançar um nível de interoperabilidade que poderia permitir a transferência de dados entre dispositivos WPAN (*Wireless Personal Area Network* – Rede Pessoal Sem Fio) e IEEE 802.11.

4.2.5.1 Características Técnicas do Bluetooth

Como grande parte das tecnologias *wireless*, o Bluetooth utiliza a banda ISM de 2,4 GHz. Também utiliza a técnica de saltos de frequência (FHSS), como o 802.11, mas realiza essa operação mais rapidamente, saltando até 1600 vezes por segundo.

Os dispositivos Bluetooth criam automaticamente conexões independentes entre outros dispositivos e o usuário não precisa configurar a rede. O Bluetooth permite que até 8 dispositivos sejam conectados diretamente entre si, formando uma *piconet* (rede muito pequena). Redes maiores podem ser criadas, mas os dispositivos só podem “enxergar” diretamente outros 7 dispositivos. Essas redes são chamadas *scatternets* (redes de difusão – redes ad-hoc) e é necessário dividi-las em *piconets*. A Figura 4.5 mostra uma *scatternet* formada por cinco *piconets*.

A transmissão de dados em uma rede Bluetooth é *duplex*, ou seja, bidirecional (no tempo). Para isso, o Bluetooth utiliza uma técnica chamada TDD (*Time Division Duplexing*) que consiste em dividir a comunicação em intervalos de tempo, uma para transmissão e outra para recepção.

Figura 4.5 – *Scatternet* com 5 *piconets*.

Os equipamentos Bluetooth têm capacidade de localizar outros equipamentos próximos, formando as *piconets*. Dentro de uma *piconet*, o dispositivo que transmitiu primeiro é considerado mestre e os outros são os escravos. Essa característica permite que as conexões sejam feitas automaticamente.

Os dispositivos que formam as *piconets* determinam um padrão de transmissão que é conhecido apenas pelos componentes da rede (seqüência dos saltos de frequências). Isso garante um certo grau de segurança nas transmissões e também permite que diferentes redes *wireless* compartilhem o mesmo espaço físico, com menor probabilidade de interferências.

A técnica de saltos de frequências dificulta as escutas clandestinas, mas não as impede. Assim, os idealizadores do Bluetooth acrescentaram três níveis de segurança à tecnologia (MILLER, 2001):

- **Modo de segurança 1: Sem segurança (*Non-Secure*)** – a transmissão de dados é feita sem nenhum tipo de segurança. Normalmente é utilizada em transmissões de dados irrelevantes.
- **Modo de segurança 2: Segurança estabelecida no nível do serviço (*Service-Level Enforced Security*)** – o dispositivo Bluetooth inicia os procedimentos de segurança depois de estabelecida a conexão.
- **Modo de segurança 3: Segurança estabelecida no nível de link (*Link-Level Enforced Security*)** – esse modo é o mais seguro. Os procedimentos de segurança são iniciados

antes do estabelecimento da conexão. Os procedimentos de segurança incluem as chaves de códigos, a autenticação dos dispositivos e a criptografia dos dados transmitidos.

Produtos baseados em Bluetooth começaram a aparecer no mercado a partir de 2002. Contudo, os fabricantes de equipamentos *wireless* estão desenvolvendo outros dispositivos baseados na tecnologia Bluetooth e estima-se que até 2005 serão vendidos mais de 2000 milhões de chips Bluetooth.

4.2.6 ZigBee¹⁰

ZigBee também é uma tecnologia *wireless* que utiliza dispositivos de rádio de baixa potência, baixo custo e pequeno alcance. Essa tecnologia foi definida por uma associação composta de fabricantes, provedores de tecnologia e usuários finais chamada *ZigBee Alliance*. Atualmente a ZigBee Alliance é composta por 28 companhias, dentre elas estão Philips, Motorola, Intel, Honeywell, Micrel, RF Microdevices, Microchip e Ericsson.

O padrão ZigBee foi homologado pelo IEEE através da norma 802.15.4. O IEEE 802.15.4 define as especificações da camada física (PHY) e da subcamada de controle de acesso ao meio (MAC) para a conexão sem fio com baixa taxa de comunicação entre dispositivos fixos, portáteis e móveis, onde o consumo de bateria é limitado e o alcance é de aproximadamente 10 m. A Figura 4.6 mostra que o ZigBee está baseado na norma IEEE 802.15.4.

¹⁰ ZIGBEE ALLIANCE. Disponível em: <<http://www.zigbee.org>>. Acesso em: 30 de setembro de 2004.

Figura 4.6 – Alcance da especificação dos padrões IEEE 802.15.4 e ZigBee.

Fonte: CHIPCON (2004).

A tecnologia ZigBee foi desenvolvida como solução em redes sem fio com baixo consumo de energia, baixa taxa de transmissão, segurança e confiabilidade. Os equipamentos ZigBee utilizam as faixas de frequências não licenciadas (faixas ISM), possuem taxas de transmissão de até 250 kbps e alcance de até 80 m.

A principal característica da tecnologia ZigBee é o baixo consumo. O ZigBee foi desenvolvido para permitir um longo tempo de uso de baterias. O baixo consumo permite o uso do ZigBee em sistemas remotos de medição, sensores sem fio e câmeras de segurança remotas, além de sistemas portáteis. O consumo é reduzido porque os dispositivos ZigBee podem ser colocados em modo de espera (*stand-by*) por horas e os pacotes de dados da comunicação são pequenos. O uso de pacotes de dados pequenos também resulta em menor probabilidade de erros de transmissão, tornando a rede com dispositivos ZigBee mais confiável.

O ZigBee utiliza as mesmas frequências de outros dispositivos *wireless* (Bluetooth, 802.11b etc.) e isso pode acarretar em problemas de interferência. Na verdade, os dispositivos ZigBee têm menor taxa de erros de transmissão em locais onde existem outras redes porque a transmissão de dados ZigBee é feita em pequenos pacotes. Como existe a possibilidade de se utilizar várias tecnologias *wireless* no mesmo espaço físico, os comitês IEEE 802.10 e IEEE 802.15.2 estão empenhados em corrigir problemas da coexistência.

As principais áreas de aplicação para o ZigBee são na indústria, comércio, automações residencial e predial, monitoramento médico de pacientes, controle de acesso para veículos etc.

4.2.6.1 Características Técnicas do ZigBee

O ZigBee é um padrão de comunicação sem fio confiável, bidirecional que opera na frequência de 2,4 GHz (banda ISM global). 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 (por exemplo, uma rede com 255 dispositivos ativos e suporte para 16 canais na banda pode chegar a mais de 4000 nós em uma única rede com alta confiabilidade).

As topologias de rede suportadas pelo ZigBee são: ad hoc, mestre-escravo e *peer-to-peer* (ponto a ponto). Qualquer dispositivo na rede pode assumir o papel de coordenador (mestre). A topologia ad hoc permite que dispositivos se conectem à rede por meio do dispositivo mais próximo, como se esse dispositivo fosse um coordenador da rede. Com relação à segurança, o ZigBee utiliza o mecanismo de criptografia *Advanced Encryption Standard* (AES128).

As principais características do ZigBee são:

- Baixo consumo de energia e baixo custo;
- Menor taxa de transmissão, se comparado às outras tecnologias – 250 kbps;
- Redes maiores, com até 255 elementos ativos;
- Alcance de até 30 m (típico).

As empresas que apostam no desenvolvimento da tecnologia ZigBee já estão produzindo equipamentos para diversas aplicações, tais como: segurança doméstica, automação residencial, industrial e predial, controle de ar condicionado e iluminação etc. A intenção das empresas associadas da ZigBee Alliance vender milhões de componentes ZigBee, a um custo de 2 a 5 dólares.

4.2.7 Outras Tecnologias *Wireless*

As tecnologias *wireless* utilizam o ar como meio físico de transmissão e as comunicações entre os diversos equipamentos podem ser feitas por luz infravermelha ou radiofrequência. As tecnologias por radiofrequência são as mais utilizadas na elaboração de redes sem fio e as tecnologias por luz infravermelha são utilizadas em conexões entre dois dispositivos próximos.

Um padrão de comunicação por luz infravermelha foi desenvolvido por uma associação de fabricantes chamada IrDA (*Infrared Data Association*). Esse padrão utiliza sinais de luz emitidos por um LED e captados por um sensor instalado no receptor. Esse tipo de comunicação é bastante utilizado em *notebooks* e impressoras. A taxa de transmissão é limitada em 115 kbps e exige que o transmissor esteja apontado para o receptor.

Com relação à tecnologia por radiofrequência, existem diversos fabricantes de equipamentos de comunicação sem fio com protocolos de comunicação proprietário. A tendência do mercado de equipamentos de comunicação é a fusão, em um mesmo equipamento, de várias tecnologias sem fio. Hoje já existem equipamentos que utilizam os padrões IEEE 802.11b e IEEE 802.11g, e fabricantes estão empenhados em desenvolver equipamentos que operam também Bluetooth.

No mercado de automação predial e residencial existem vários fabricantes de equipamentos com soluções proprietárias. Por exemplo, a empresa dinamarquesa Zensys tem uma solução chamada Z-Wave para a automação predial e residencial de baixo custo que utiliza redes sem fio com a topologia em malha. As principais aplicações estão no controle da iluminação, do ar condicionado e ventilação, na segurança e outros.

4.3 ESTUDO COMPARATIVO DAS TECNOLOGIAS *WIRELESS*

Com a padronização das tecnologias sem fio, o mercado espera uma “avalanche” de equipamentos com baixo custo, utilizados principalmente em aplicações domésticas e industriais. O uso de uma ou outra tecnologia sem fio depende da aplicação, do número de elementos a serem colocados na rede, do custo, da quantidade de dados a serem transmitidos etc. Cada tecnologia tem sua particularidade e a solução final depende de um estudo minucioso de suas vantagens e desvantagens.

Equipamentos que utilizam padrões definidos pelo IEEE são os recomendados para a elaboração de projetos de automação sem fio. Isso evita que o integrador fique “amarrado” a uma tecnologia proprietária e, muitas vezes, cara. Os padrões definidos pelo IEEE possuem a vantagem de serem mais conhecidos, com mais opções de fabricantes e a um custo muito menor.

Dentre os padrões mais conhecidos destacam-se o Bluetooth, o IEEE 802.11b e o ZigBee. Outros padrões estão sendo desenvolvidos para uso em diversas áreas e logo vários produtos sem fio com tecnologias diversas coexistirão.

O Bluetooth é indicado em aplicações onde o número de equipamentos é pequeno, mas o tráfego de dados pode ser grande (com taxas de até 1 Mbps). As redes com dispositivos Bluetooth podem ser facilmente criadas, permitindo, assim, que a tecnologia seja utilizada em escritórios onde um *notebook* ou um celular podem acessar diretamente a rede. O Bluetooth elimina indesejáveis cabos de redes Ethernet conectados ao computador. Além disso, a vantagem principal é que computadores e celulares novos já possuem Bluetooth.

O IEEE 802.11b também pode ser utilizado em aplicações de escritório. Possui alta taxa de transmissão (11 Mbps), com conexões confiáveis, com longo alcance (100 metros) e pode ser integrada facilmente com uma rede Ethernet. As desvantagens são o custo, a exigência de um ponto de acesso e a difícil configuração da rede.

O objetivo do ZigBee é ser um canal de comunicação sem fio com baixa taxa de transmissão (250 kbps) e baixo consumo. Assim, o ZigBee tem 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 e iluminação,

câmeras de segurança e outros dispositivos, sem necessidade de utilizar cabos para as conexões de sinais.

Embora as tecnologias anteriores utilizem as mesmas frequências, elas não competem entre si porque cada tecnologia tem sua particularidade. O Bluetooth é utilizado para substituir cabos e realizar conexões temporárias e rápidas. O IEEE 802.11b/g é utilizado na construção de redes sem fio maiores e confiáveis, visando ampliar ou substituir LAN. O ZigBee é indicado para uso na automação, como controle de iluminação, do ar condicionado, em segurança etc. A Tabela 4.2 mostra uma comparação entre as tecnologias.

Tabela 4.2 – Comparação entre algumas tecnologias *wireless*

Fonte: MILLER (2001); VENTURES (2005).

	Bluetooth	IEEE 802.11b	ZigBee	Z-Wave
Aplicação	Substituição de cabos	Redes corporativas ou universitárias	Redes de sensores, automação	Automação residencial e predial
Frequência e Modulação	2,4 GHz FHSS	2,4 GHz DSSS	2,4 GHz DSSS	900 MHz FSK
Taxa de transmissão	1 Mbps	11 Mbps	250 kbps	9,6 kbps
Alcance	10 metros	100 metros	80 m	30 m
Suporte à telefonia	Sim	Não	Não	Não
Pontos de acesso	Não	Sim	Não	Não
Consumo	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
Custo estimado	\$5	\$30	\$5	< \$5
Vida útil de baterias	5 dias	< 1 dia	>1000 dias	> 1000 dias

4.4 EQUIPAMENTOS *WIRELESS*

As redes sem fio são constituídas de equipamentos ou computadores com módulos de radiofrequência embutidos e não necessitam de uma estrutura física. Dependendo do tipo de tecnologia adotada na rede esses módulos podem ser placas, cartões ou equipamentos externos.

A tecnologia IEEE 802.11b utiliza placas e *hub wireless* (AP – *Access Point*) com uma topologia semelhante à tecnologia Ethernet, ou seja, todos os equipamentos precisam de uma placa IEEE 802.11b para que eles possam se comunicar entre si. Em *notebooks* e outros computadores portáteis, a comunicação sem fio pode ser feita por meio de um cartão PC *Card*, semelhante às placas de modem. No caso dos computadores de mesa, a solução é utilizar uma placa com conector PC *Card* instalada dentro do computador e também utilizar o cartão IEEE 802.11b/g.

No mercado existem outras soluções que utilizam a comunicação via USB (*Universal Serial Bus*) para a transmissão sem fio. Assim, computadores que dispõem de conector USB podem utilizar esses equipamentos para ter acesso a redes 802.11 ou Bluetooth.

Figura 4.7 – Equipamentos para redes IEEE 802.11b/g.

Fontes: <http://images.amazon.com/images/P/B0000ASRPN.03._SCMZTTTTTTTTT_.jpg> e
<<http://images.tigerdirect.com/SKUimages/medium/c155-3130-main-6.jpg>>

Cartão BlueTooth

Dispositivo USB - BlueTooth

Figura 4.8 – Equipamentos para redes Bluetooth.

Fonte: <http://www.ciao.de/3Com_Wireless_Bluetooth__1264453>

Os fabricantes de modelos de computadores portáteis já estão incluindo, em seus produtos, pelo menos uma tecnologia de comunicação sem fio, normalmente o Bluetooth.

Os equipamentos de comunicação sem fio ainda são mais caros do que os dispositivos utilizados nas redes de comunicação convencional. Outro problema está relacionado à velocidade de transmissão dos dados, que chega a 54 Mbps, enquanto em uma LAN com fio essa taxa chega a 1 Gbps.

5 USO DE REDES SEM FIO NA AUTOMAÇÃO PREDIAL

A comunicação entre redes de computadores está bem difundida e o principal exemplo é a Internet, que conecta usuários de todo o mundo e permite a troca de informações entre esses usuários. Na automação predial, o uso de redes de computadores (e equipamentos) permite que uma central, ou mesmo terminal, conectada à rede tenha acesso a todas as informações de sensores e atuadores dentro de um edifício. Com essas informações, a central pode monitorar e controlar todas as variáveis do edifício, sempre visando a segurança e o bem-estar dos ocupantes e o uso racional de energia.

Dentro de um edifício, além das redes utilizadas para o monitoramento e controle do edifício, os usuários dispõem de uma rede de dados que permite o acesso à Internet e/ou a outras redes privadas. Assim, os usuários podem realizar seus trabalhos por meio de serviços disponíveis na Internet, o que significa ganhar tempo e dinheiro.

Num mundo onde o número de usuários conectados é maior, o uso de redes sem fio garante a mobilidade desses usuários e a facilidade de conexão. Desta forma, usuários de equipamentos móveis, como *notebooks*, não precisam ficar fisicamente presos a um ponto de rede e suas conexões podem ser feitas automaticamente, o que facilita o acesso.

O uso de redes sem fio não fica restrito à comunicação de dados entre usuários. O seu uso pode ser estendido aos sensores, atuadores e equipamentos, normalmente em locais onde o uso de cabos comuns não é possível. A aplicação em edifícios inteligentes é direta porque o conceito de “inteligência” de um edifício está associado à sua capacidade de se adaptar às novas tecnologias (NEVES, 2002).

Em muitos edifícios inteligentes as redes sem fio já estão previstas, permitindo a mobilidade e a fácil expansão da rede convencional. Em outros casos, principalmente em construções ou prédios antigos, existe a necessidade de um estudo de viabilidade da instalação. No caso de redes convencionais, a instalação é mais complicada por causa da infra-estrutura, ou seja, da passagem dos cabos e da topologia utilizada. A implantação pode exigir tanto obras civis e instalação de pisos elevados até mesmo deixar dutos e calhas à mostra.

Atualmente o custo dos equipamentos utilizados em redes sem fio vem caindo bastante, fazendo com que a tecnologia se torne uma boa opção quando os usuários necessitam de rapidez de instalação, mobilidade e liberdade para os pontos da rede. Outra vantagem é a mobilidade da própria rede, ou seja, as redes sem fio podem ser mudadas de um ambiente ou prédio para outro sem custos de instalação e cabos.

5.1 AUTOMAÇÃO PREDIAL USANDO REDES SEM FIO

As redes sem fio podem ser utilizadas em diversas áreas em um edifício. O seu uso pode estar desde a conexão de um computador a uma impressora até em transmissores (sensores ou atuadores) que controlam as principais funções do edifício. O modelo de automação proposto na Tabela 5.1 mostra algumas aplicações da tecnologia *wireless* em um edifício.

Tabela 5.1 – Elementos a serem automatizados utilizando tecnologia *wireless*

Elementos a Serem Automatizados	Tecnologia
Ar Condicionado	ZigBee ou proprietária
Iluminação	ZigBee ou proprietária
Bombas de Água	ZigBee ou proprietária
Alarme de Incêndio	ZigBee ou proprietária
Segurança e Controle de Acesso	ZigBee, Bluetooth ou proprietária
Redes Locais – Computadores e Periféricos	Bluetooth, IEEE 802.11b/g
Redes Locais – Dados, Voz e Vídeo	Bluetooth, IEEE 802.11b/g

Os elementos da Tabela 5.1 são apenas alguns exemplos do uso de tecnologia *wireless* na automação de um edifício. As tecnologias Bluetooth, IEEE 802.11b/g e ZigBee tem

características diferentes e podem ser utilizadas inclusive no mesmo ambiente de forma concomitante. Por serem padronizadas, essas tecnologias têm uma aceitação muito maior no mercado do que soluções proprietárias.

O uso mais promissor de redes *wireless* está nos setores de medição, monitoramento e controle de grandezas físicas, tais como temperatura, iluminação, energia e outras. A Figura 5.1 mostra um exemplo de aplicação de redes *wireless* em sensores.

Figura 5.1 – Exemplo de aplicações de sensores *wireless*.

Fonte: CHIPCON (2004).

A quantidade de sensores dos sistemas de monitoramento e controle é muito grande dentro de um edifício, o que resulta em grande transtorno para a instalação desses

dispositivos. Em muitos casos, a falta de planejamento da automação resulta em custos adicionais para a elaboração da infra-estrutura e a colocação dos sensores e dispositivos de controle. A grande vantagem dos sensores sem fio é a versatilidade, ou seja, os sensores são instalados em qualquer ponto do ambiente sem a necessidade de se colocar fios ou cabos.

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

- 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, por exemplo, edifícios antigos ou sem “inteligência”;
- A instalação da rede de sensores é rápida e a configuração é fácil.

Os fabricantes estão apostando no aumento da demanda de equipamentos *wireless* para a automação predial e residencial. A expectativa é que nos próximos anos o custo dos sensores *wireless* caia pela metade.

A tecnologia *wireless* não está presente somente na automação e no controle das funções de um edifício. As transmissões de dados, voz e vídeo podem utilizar equipamentos *wireless* integrados ao sistema de automação do edifício e podem ser acessadas através de uma WLAN. A Figura 5.2 mostra um modelo de rede de dados sem fio (WLAN) conectada à rede principal (LAN).

Figura 5.2 – Rede de dados sem fio (WLAN) conectada à rede convencional (LAN).

5.1.1 Sensores e Atuadores Sem Fio (Transmissores Sem Fio)

Sensores e atuadores sem fio são componentes pequenos que combinam sensores especializados com pequena capacidade de processamento, armazenamento e comunicação sem fio. Esses dispositivos têm a capacidade de formar redes, podendo chegar aos milhares, com o objetivo de monitorar e controlar alguma variável física (PEREIRA; AMORIM; CASTRO, 2005).

Os fabricantes de dispositivos para automação estão investindo cada vez mais no desenvolvimento de sensores e atuadores *wireless* para monitoramento e controle, de baixo custo, confiáveis, baseados em um padrão global. Atualmente várias tecnologias já vêm sendo utilizadas na automação industrial, residencial e predial.

O baixo consumo dos sensores *wireless* permite que baterias sejam utilizadas como fonte de alimentação. Assim, esses dispositivos podem ser utilizados na monitoração de acesso, aquecimento e refrigeração de salas individuais, controle de iluminação, detecção de incêndio, controles remotos de áudio e vídeo, câmeras de segurança, obtendo uma maior

durabilidade nas baterias. A Figura 5.3 mostra o diagrama funcional de sensores *wireless*. Tipicamente, os circuitos desses sensores são pequenos e discretos. As principais aplicações são medição de temperatura, intensidade luminosa etc.

Figura 5.3 – Diagrama funcional de um sensor *wireless*.

A Figura 5.4 mostra o diagrama funcional do circuito de um atuador. Esse circuito pode atuar ligando e desligando cargas (lâmpadas, bombas de água, motores etc.) ou controlando outros dispositivos através de saídas analógicas (inversores, lâmpadas etc.).

Figura 5.4 – Diagrama funcional de um atuador *wireless*.

A empresa norueguesa Chicon¹¹ possui uma solução ZigBee em um circuito integrado chamado CC2420. A aplicação possui poucos componentes e o transceptor ZigBee (CC2420) ocupa um pequeno espaço na placa (7x7 mm). As placas dos transceptores ZigBee podem ser idênticas, variando-se apenas o tipo de sensor ou atuador. A Figura 5.5 mostra o CC2420 em uma placa.

Figura 5.5 – Circuito elétrico utilizando o circuito integrado CC2420 (transceptor ZigBee).

Fonte: CHIPCON (2004).

A Figura 5.6 mostra uma aplicação de sensores e atuadores *wireless* na iluminação de um ambiente. Nesse exemplo, cada dispositivo (luminária, sensor e interruptor) possui um módulo RF com um número de identificação único e esses módulos se comunicam entre si. O controle da luminária está no módulo do interruptor onde o usuário pode ligar, desligar ou variar a intensidade da luz.

Figura 5.6 – Uso de sensores e atuadores *wireless* na iluminação de ambientes.

¹¹ CHIPCON. Disponível em: <<http://www.chipcon.com>>. Acesso em: 30 de setembro de 2004.

O controle da intensidade luminosa é feito através de sensores que compensam a diminuição da luz externa no ambiente. O usuário estabelece qual é a intensidade luminosa adequada para o ambiente no módulo do interruptor (controle), que envia para o módulo da luminária o nível de iluminação desejado. O módulo do sensor mede e transmite, em pequenos intervalos de tempo, a intensidade luminosa do ambiente para o interruptor. O interruptor, por sua vez, irá enviar para a luminária a nova intensidade luminosa de modo a compensar variações de luz externa.

O fato dos módulos trabalharem em rede permite que as informações dos sensores e dos controladores possam ser utilizadas por um software de supervisão. O administrador terá condições de controlar ou monitorar remotamente qualquer variável física do edifício ou residência.

Os sensores *wireless* podem ser alimentados com baterias e instalados em qualquer ponto do ambiente, já que não possuem fios. O módulo de controle também pode ser movido sem problemas. Os únicos cabos ou fios no ambiente serão os de alimentação das lâmpadas da luminária, que também irão alimentar o módulo RF da luminária.

5.1.1.1 Características dos Sensores e Atuadores Sem Fio

Sensores e atuadores sem fio são projetados para operar com as seguintes características:

- Consumo muito baixo, permitindo o uso de baterias comuns com uma longa vida útil;
- Tamanho reduzido, facilitando a instalação;
- Conformidade com padrões e normas;
- Compatibilidade com diversos mercados;
- Capacidade de comunicação com outros sensores e atuadores (sensores espertos);
- Robustez, permitindo a operação em locais de difícil acesso e em locais com variações de temperatura, umidade etc.

Essas características permitem que dezenas ou centenas de sensores possam formar uma rede grande e flexível sem fio a ser utilizada na automação predial.

Na automação de um edifício, as grandezas físicas que são monitoradas e controladas normalmente têm uma variação lenta (temperatura, por exemplo). Assim, na maior parte do tempo o sensor pode ficar ocioso ou “dormindo” e quando for solicitado o sensor transmite seus dados e volta a ficar ocioso.

O baixo consumo é um dos principais objetivos dos fabricantes de sensores sem fio. As principais técnicas para se minimizar o consumo dos sensores são as seguintes:

- **Baixa taxa de amostragem da grandeza física** – a redução do consumo se dá através do controle do tempo em que o sensor está monitorando a grandeza física. O sensor possui dois modos de operação: modo ativo e modo *sleep* (espera). Normalmente o sensor está no modo *sleep* e em intervalos regulares de tempo ele “acorda” e lê a variável monitorada, armazena em uma memória e volta para o modo *sleep*. Quanto maior o período de amostragem menor é o consumo do dispositivo. De um modo geral, o consumo no modo ativo é de 500 a 1000 vezes maior do que no modo *sleep*.

Figura 5.7 – Relação de consumo dos modos ativo e *sleep* de um sensor.

- **Maior taxa de comunicação de dados** – a comunicação acontece no modo ativo e o consumo do dispositivo neste modo é elevado. Assim, quanto mais rápido for a comunicação menor será o consumo. Por exemplo, a transferência de 20 bytes a uma taxa de 250 kbps necessita de 640 μ s. Essa mesma quantidade de bytes irá demorar 160 μ s se a taxa for de 1 Mbps.

Figura 5.8 – Relação de consumo durante a comunicação de dados com taxas diferentes.

- **Menor número de comunicações** – quanto menor o número de comunicações do dispositivo menor será seu consumo. O dispositivo sensor deve ficar o maior tempo possível no modo *sleep* para que o consumo seja reduzido. Assim, o dispositivo sensor entra no modo ativo e transmite os dados armazenados na memória e volta para o modo *sleep*.

Figura 5.9 – Consumo relativo ao número de comunicações.

5.1.1.2 Rede de Sensores e Atuadores Sem Fio

As redes de sensores e atuadores são formadas por um grande número de dispositivos, pequenos e imóveis, funcionando como redes ad hoc, com o objetivo de detectar, transmitir e controlar alguma característica física do ambiente. A informação transmitida é coletada por uma base central de dados. Os elementos da rede podem atuar de forma isolada, mas também podem juntar as informações individuais para monitorar algum fenômeno (PEREIRA; AMORIM; CASTRO, 2005).

Nesse contexto, um edifício poderia ser encarado como um ambiente propício para a utilização de redes de sensores sem fio. Todos os sensores e atuadores poderiam ser instalados e configurados para formarem uma enorme rede e uma estação central (controlador) poderia receber as informações dos sensores e elaborar a lógica de controle da variável física monitorada.

A instalação das conexões dos sensores e atuadores é, sem dúvida, um trabalho demorado e pode gerar custos elevados, se for mal planejada. A integração dos sistemas de automação também pode ser trabalhosa se o número de sensores, atuadores, controladores e sistemas for grande, conforme mostra a Figura 5.10.

Figura 5.10 – Rede de sensores e atuadores.

Sensores e atuadores com fios podem ser substituídos por dispositivos *wireless*, conforme mostra a Figura 5.11. A rede que interliga os controladores também pode ser sem fios, mas deve ser levada em consideração a relação custo-benefício. As redes principais e secundárias de um edifício são planejadas para terem máximo desempenho e a substituição dessas redes por redes *wireless* pode não ser vantajosa. As redes de sensores e atuadores *wireless* podem ser expansões da rede secundária, sendo essa a principal aplicação dessa tecnologia.

Figura 5.11 – Rede de sensores e atuadores *wireless*.

O princípio de funcionamento das redes de sensores e atuadores *wireless* pode ser descrito através de dois modelos: rede com ponto de acesso e rede ad hoc.

As redes *wireless* com pontos de acesso podem ser utilizadas em sistemas onde o número de sensores e atuadores é pequeno e podem ser integradas a outros sistemas. Um exemplo é o sistema de iluminação, onde sensores de presença são utilizados para o desligamento das luzes quando não houver ninguém no ambiente. Quando o sistema de alarme estiver ligado, esses sensores enviam informações sobre a presença de intrusos para o ponto de acesso (controlador), que repassará a informação para o sistema de alarme. Os sensores não se comunicam entre si.

As redes ad hoc são utilizadas em sistemas sem um ponto de acesso. A transmissão das informações é repassada entre os módulos por meio dos elementos mais próximos. Um exemplo seria o controle das luzes de um ambiente externo. O controle remoto poderia estar em qualquer local da construção e os comandos de ligar ou desligar as luzes externas iriam se propagar por várias rotas entre os elementos da rede até chegarem aos módulos das luzes.

A automação predial exige um grande número de elementos e as tecnologias existentes nesse mercado permitem criar redes *wireless* com uma quantidade muito grande de elementos.

Embora sejam utilizados em aplicações diferentes, os controladores e sensores *wireless* podem formar uma grande rede, conforme mostra a Figura 5.12.

Figura 5.12 – Rede ad hoc de sensores e atuadores.

5.2 EXEMPLOS DE AUTOMAÇÃO PREDIAL USANDO REDES SEM FIO

Os modelos de automação predial podem ser caracterizados de duas formas: os que foram implementados juntamente com a construção do edifício e os que foram acrescentados com o edifício pronto. A automação implementada com a construção do edifício tem a grande vantagem de reduzir custos de equipamentos e instalação, possibilitando o uso de novas tecnologias, como redes sem fio.

Em contrapartida, a implementação da automação em edifícios já construídos pode ter custos elevados, o que inviabiliza, na grande maioria dos casos, o uso de novas tecnologias. Neste contexto, o custo de instalação de dispositivos de automação está diretamente relacionado à capacidade do edifício de receber novas tecnologias. Por exemplo, para a instalação de uma rede convencional (cabos) temos o custo dos cabos, da mão-de-obra, dos

equipamentos e o da obra civil. Se esse edifício já possui “inteligência” (está preparado para novas tecnologias – cabeamento estruturado e outros), os custos serão apenas de equipamentos e de instalação.

Um exemplo de automação predial com tecnologia *wireless* utilizando a infra-estrutura de cabos é mostrado na Figura 5.13.

Figura 5.13 – Exemplo de aplicação de redes sem fio em um edifício.

Esse modelo de automação utiliza sensores e controladores sem fio operando em cada andar e os controladores têm conexão com a rede convencional. Assim, a central de operação, por meio de um software supervisor, pode monitorar qualquer sensor e controlar qualquer dispositivo conectado à rede.

Outro exemplo de aplicação de redes *wireless* é o controle do sistema de ventilação e ar condicionado. A aplicação foi implementada em um edifício construído com concreto e aço

e possui 70000 ft² (6500 m²) e 3 andares (KINTNER-MEYER, M.; BRAMBLEY, M. R., 2005).

O sistema de ventilação e ar condicionado consiste de um resfriador, um aquecedor e um sistema de ventilação composto de 100 caixas para controle de fluxo de ar. A rede de sensores sem fio é composta de 33 transmissores de temperatura instalados em várias zonas de medição. As zonas de medição de temperatura fornecem informações para o ajuste de temperatura e conforto térmico de modo a melhorar a eficiência de energia.

A rede sem fio utiliza 33 sensores de temperatura sem fio (com baterias), 3 repetidores¹², 1 receptor, que possui interface com outras redes de automação predial (cabos). Os sensores operam com frequências entre 902 e 928 MHz, faixa sem restrição de uso (nos Estados Unidos). A transmissão utiliza a técnica de saltos em frequência (FHSS), o que garante uma relativa robustez do sistema.

O transmissor tem um alcance de 2500 ft (760 m) em campo aberto, mas esse alcance é bastante reduzido em interiores. O transmissor utiliza uma bateria padrão de lítio (3 V) com uma capacidade de 1400 mAh (miliAmpère x hora), que permite um uso estimado de até 5 anos com uma taxa de comunicação muito baixa (a cada 10 minutos). A bateria é monitorada pelo transmissor e uma função chamada “bateria fraca” permite informar a central sobre o problema.

O repetidor é colocado em um local estratégico e alimentado pela rede e possui bateria de reserva. Os repetidores são instalados em cada andar e alocados em painéis. O receptor é colocado próximo de algum ponto para conexão com a rede do edifício.

5.2.1 Custos Efetivos de Implantação de Redes de Sensores Sem Fio

O exemplo anterior apresenta o uso de sensores de temperatura para o controle do sistema de ventilação e ar condicionado. Se esta automação fosse feita com cabos, seriam necessários de mais de 3000 ft (900 m) de fios. Tipicamente, os cabos utilizados para a

¹² Repetidor é um equipamento sem fio responsável pela retransmissão de dados. Ele atua como uma ponte de comunicação entre transmissores e receptores que estão fora de alcance.

automação são do tipo 18 AWG (1 mm) e o custo aproximado de US\$ 0,07 / ft (US\$ 0,23 / m) (KINTNER-MEYER, M.; BRAMBLEY, M. R., 2005). A Tabela 5.2 mostra a comparação de custos do sistema com fio e sem fio para o exemplo dado.

Tabela 5.2 – Comparação de custos de um sistema com fio e o sistema sem fio.

Fonte: KINTNER-MEYER, M.; BRAMBLEY, M. R. (2005).

Equipamento	Projeto com fio	Projetos sem fio
Sensores	US\$ 1800	US\$ 3000 ¹³
Fios	US\$ 4800 ¹⁴	-
<i>Hardware</i> para condicionamento de sinais e comunicação	-	US\$ 2475
Mão-de-obra	- ¹⁵	US\$ 800
Custo total	US\$ 6600	US\$ 6275

Para o exemplo mostrado, o custo da instalação dos sensores sem fio foi menor do que o custo de instalação dos sensores com fios. No projeto de rede sem fio, os sensores e equipamentos colaboraram para a elevação do custo, que realmente é muito maior do que o custo dos equipamentos para redes com fio. Entretanto, os fios, os cabos e a instalação são os elementos que apresentam o maior custo em uma automação com fios.

A escolha da tecnologia a ser utilizada na automação depende de muitos fatores e a relação custo-benefício é um desses fatores. Tendo em vista que o custo da automação aumenta com a quantidade de fios utilizada, um estudo específico deve ser feito para uma escolha adequada.

A comparação de custos de sistemas com e sem fio pode ser feita através da relação ($\text{Custo}_{\text{wireless}} / \text{Custo}_{\text{wired}}$). A relação menor do que a unidade indica que a tecnologia *wireless* tem menor custo (KINTNER-MEYER, M.; BRAMBLEY, M. R., 2005).

Em sistemas instalados com fios, o custo depende de dois fatores:

¹³ O custo do transmissor está incluso.

¹⁴ O custo de instalação está incluso.

¹⁵ A mão-de-obra está inclusa no custo dos fios.

- Grau de dificuldade da instalação dos cabos e das conexões entre os sensores e os equipamentos e outros dispositivos;
- Distâncias entre os equipamentos.

No caso de edifícios já construídos, o grau de dificuldade de instalação dos cabos é maior do que em edifícios em construção, o que gera um aumento do custo de instalação da automação. A distância entre os equipamentos tem impacto direto na quantidade de fios e cabos da instalação, também contribuindo para o aumento do custo.

Em sistemas *wireless*, o custo está relacionado ao grau de atenuação do sinal dentro do edifício. A atenuação é um problema que pode ser resolvido com o uso de repetidores, que acabam contribuindo para o aumento do custo da automação.

A Figura 5.14 mostra um gráfico que mostra o custo relativo ($\text{Custo}_{\text{wireless}} / \text{Custo}_{\text{wired}}$) da instalação do sistema de ventilação e ar condicionado do exemplo dado em função do comprimento dos fios utilizados e do número de repetidores. O gráfico também mostra os custos de uma nova instalação e de *retrofit* (reengenharia).

Os pontos A, B, C e D foram escolhidos para análise e representam diversas situações da instalação. Esses pontos têm em comum o comprimento dos fios (900 metros). O ponto A (custo relativo = 0,3) representa o custo de instalação de um sistema sem fio, sem repetidor, num caso de *retrofit*. O ponto B (custo relativo = 0,9) representa o custo de um *retrofit* de um sistema sem fio com 10 repetidores (grande atenuação). Os casos C (custo relativo = 1,0) e D (custo relativo = 2,9) representam a situação de uma nova construção.

Figura 5.14 – Custo relativo de automação com e sem fios de um sistema de ar condicionado.

Fonte: KINTNER-MEYER, M.; BRAMBLEY, M. R. (2005).

A partir do gráfico da Figura 5.14 pode-se concluir que o custo de implantação de sistemas sem fio genérico é menor em um edifício já construído. O custo é menor ainda se as características do edifício não impedem a transmissão e o comprimento dos fios que seriam utilizados na automação são grandes.

Alguns aspectos interessantes devem ser levados em consideração com relação ao custo de um sistema de automação sem fio:

- O custo de implantação de mais sensores sem fio é muito baixo. Basicamente, esse custo é o custo dos sensores. A instalação é rápida e não exige obra civil e mão-de-obra;
- O sensor pode ser instalado em qualquer local para ter um melhor rendimento. Pode também ser instalado em locais onde a passagem de cabos é restrita;
- Se houver necessidade de mudança, a automação pode ser totalmente transferida para outro local. Isso evita que o usuário tenha custos de uma nova instalação.

5.2.2 Estações de Trabalho Sem Fio

As estações de trabalho sem fio são computadores, fixos ou móveis, que possuem algum tipo de interface de comunicação padronizada. Normalmente, os principais padrões utilizados para a comunicação entre computadores ou periféricos são o IEEE 802.11b/g ou Bluetooth.

O IEEE 802.11b/g pode ser utilizado para substituir ou expandir a rede convencional (Ethernet). Computadores e outros equipamentos podem ser utilizados em redes IEEE 802.11b/g com a ajuda de adaptadores ou placas de interface. Dessa forma, todos os computadores ou equipamentos pertencentes à rede podem comunicar-se entre si diretamente ou via ponto de acesso. O usuário poderá ter acesso, via RF, a todos os serviços disponíveis, inclusive Internet.

O Bluetooth não chega a ser um substituto do IEEE 802.11. A aplicação típica do Bluetooth é entre computadores e periféricos. A grande vantagem do Bluetooth é que os novos computadores portáteis e periféricos, como as impressoras e até mesmo celulares, já possuem a tecnologia embutida. É interessante notar que as tecnologias IEEE 802.11b/g e Bluetooth podem ocupar o mesmo ambiente e os detalhes de coexistência estão sendo discutidos pelo IEEE.

Figura 5.15 – Ambiente de escritório utilizando redes IEEE 802.11b (WI-FI) e Bluetooth.

Fonte: <www.integral.com.br/awbc2u.htm>

5.2.2.1 Aplicações de Estações de Trabalho Sem Fio

Uma aplicação interessante do uso de rede *wireless* acontece no Campus da Faculdade de Medicina da USP, em São Paulo¹⁶. O prédio da faculdade está sendo restaurado e o tempo previsto das obras é de 5 anos. Para evitar que os alunos, professores e funcionários fossem prejudicados durante as obras, uma rede IEEE 802.11g está sendo implantada para suprir os setores interditados.

¹⁶ A REDE itinerante da USP. **InfoExame**. São Paulo, n. 222, p. 71-72, set. 2004.

A obra está sendo realizada por etapas. A cada etapa um setor da faculdade é interditado, as pessoas envolvidas mudam de lugar e passam a utilizar a rede sem fio. Quando a obra no setor é terminada, todos voltam aos seus lugares e a rede sem fio é implantada em outro local. Para a aplicação foram usados 10 pontos de acesso, 95 placas de rede sem fio para computador e 15 para *notebooks*, num total de 35 mil reais.

Redes *wireless* também podem ser utilizadas em salas de reuniões ou de conferências. Normalmente as pessoas que participam de reuniões possuem computadores portáteis com placas de redes sem fio para a verificação de correio eletrônico, Internet ou simples trocas de arquivos. Assim as informações, relatórios e documentos podem ser enviados a todos os participantes da reunião via comunicação *wireless*.

5.3 SEGURANÇA EM REDES SEM FIO

As redes de computadores *wireless* estão se tornando uma realidade em várias instituições e empresas. As facilidades de mobilidade e flexibilidade das conexões são algumas características que têm chamado a atenção dos usuários. Entretanto, as redes *wireless* possuem algumas vulnerabilidades que devem ser levadas em consideração durante a implantação.

Redes *wireless* podem irradiar sinais em um raio de até 100 metros e dentro desse raio um intruso pode se conectar a essa rede se ela não estiver protegida. Esses intrusos utilizam um computador, uma placa de rede *wireless* e um software espião (*sniffer*) para verificar se a rede tem proteção ou não.

O principal problema de uma rede *wireless* é a configuração feita. Normalmente, os mecanismos de proteção dos pontos de acesso não são ativados pelo usuário. Dentre esses mecanismos estão a utilização de *firewall*, que limita o tráfego na rede e a criptografia em nível de aplicação com o software VPN (*Virtual Private Network*), visando a proteção dos dados. Outro método de criptografia, de 64 ou 128 bits, chamado WEP (*Wireless Equivalent Privacy*) é utilizado pelos padrões IEEE 802.11x. O WEP foi criado para garantir o mesmo nível de segurança das redes com cabos.

Os dispositivos Bluetooth também possuem mecanismos de segurança, principalmente criptografia e autenticação. Um fator importante para a segurança é o curto alcance do Bluetooth, que o torna mais seguro do que as outras tecnologias.

No caso dos sensores e atuadores implementados com tecnologia ZigBee ou proprietária, tanto o curto alcance como a baixa taxa de comunicação entre os dispositivos contribuem para a melhoria da segurança. Os procedimentos de segurança também incluem a criptografia.

6 ESTUDO DE CASO: EMPREGO DE DISPOSITIVOS SEM FIOS NA AUTOMAÇÃO DO AR CONDICIONADO

A avaliação dos dispositivos sem fio foi feita através de um modelo prático de automação. Para tanto, uma instalação de ar condicionado foi idealizada e automatizada com o uso de dispositivos sensores sem fio. A Figura 6.1 mostra um diagrama simplificado de uma instalação.

Figura 6.1 – Exemplo de um sistema de ar condicionado com transmissores de temperatura sem fio.

Os principais itens desse sistema de controle de ar condicionado são:

- **Controlador** – unidade de controle do ar condicionado. Esse equipamento pode controlar o *damper* de mistura e o resfriador, além de receber sinais de temperatura dos sensores através de uma interface de comunicação sem fio;
- **T1 e T2** – dispositivos de comunicação sem fio. Cada dispositivo é constituído de um sensor de temperatura e uma unidade de rádio.

Em um sistema convencional os sensores de temperatura são conectados diretamente no controlador. A temperatura medida é comparada com uma temperatura de referência (ajustada pelo usuário) e o controle é feito pelo ajuste do *damp*er de mistura e/ou pelo resfriador (e ventiladores, não mostrados na Figura 6.1).

No caso da solução sem fio, a temperatura é medida através dos sensores em T1 e T2. Em intervalos regulares de tempo os transmissores enviam, via sinais de rádio, a temperatura na zona onde o sensor está instalado. Nessa situação o sistema de ar condicionado pode ser ajustado para um melhor rendimento porque o sensor pode ser instalado em qualquer local dentro do ambiente.

6.1 IMPLEMENTAÇÃO DO *HARDWARE*

O desenvolvimento do *hardware* passou por duas etapas principais: elaboração de um transmissor de temperatura sem fio e de um receptor com interface de comunicação com o controlador do ar condicionado. O controlador do ar condicionado pode ser qualquer tipo: CLP, computador ou controlador dedicado. O objetivo principal é levar o sinal de temperatura, convertido em sinais digitais, até o controlador.

6.1.1 Transmissor de Temperatura Sem Fio

A Figura 6.2 mostra um diagrama do transmissor sem fio. A partir desse diagrama foi desenvolvido um protótipo funcional de um transmissor de temperatura sem fio mostrado na Figura 6.3.

Figura 6.2 – Diagrama em blocos de um transmissor de temperatura sem fio.

Figura 6.3 – Foto do protótipo de um transmissor de temperatura desenvolvido para teste.

O transmissor de temperatura sem fio foi concebido para operar com baterias e a tensão dos componentes é de 3 V. Os principais componentes utilizados são mostrados a seguir:

- **LM75** – Sensor de temperatura. Fabricado pela National Semiconductor, o LM75 é um sensor de temperatura que opera de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, com resolução de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. O LM 75 converte a temperatura diretamente em um valor digital de 9 bits. Esse sensor é ideal para monitoramento de temperatura ambiente e tem consumo muito baixo (modo ativo = $250\text{ }\mu\text{A}$);

- **AT90S2313** – Microcontrolador. Fabricado pela Atmel, o AT90S2313 possui 2 kbytes de FLASH e 128 bytes de RAM. O microcontrolador é responsável por configurar o módulo RF, ler o valor digital de temperatura e enviar esse valor para o módulo. O microcontrolador opera com um cristal de 4 MHz;
- **nRF2401 EVBOARD** – é uma placa de teste para o circuito integrado nRF2401, que é um transceptor de rádio-frequência de 2,4 GHz, fabricado pela empresa norueguesa Nordic VLSI¹⁷.

O nRF2401 é um pequeno transceptor (5x5 mm) de rádio-frequência de 2,4 GHz. O componente possui interface serial de comunicação com qualquer dispositivo digital (microcontrolador) para configuração e transmissão de dados. As principais características do componente são:

- Transceptor GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*);
- Taxas de comunicação de 250 kbps e 1 Mbps;
- Operação multicanal:
 - Possui 125 canais diferentes;
 - Tempo para troca de canal menor do que 200 µs;
 - Suporta o modo de saltos de frequências;
- Controle de endereços físicos e CRC (*Cyclic Redundancy Check*);
- ShockBurstTM – modo de operação de baixo consumo;
- Faixa de tensões de operação de 1,9 a 3,6 V;
- Baixa corrente de operação:
 - Transmissor – 10,5 mA com -5 dBm de potência de saída;
 - Receptor – 18 mA a 250 kbps.

¹⁷ NORDIC SEMICONDUCTOR. Disponível em: <<http://www.nordicsemi.no>>. Acesso em: 19 de junho de 2005.

6.1.2 Receptor Sem Fio

O receptor sem fio tem a finalidade de receber os sinais enviados pelo transmissor de temperatura e repassá-los para o controlador do sistema de ar condicionado. A Figura 6.4 mostra o diagrama em blocos do receptor sem fio.

Figura 6.4 – Diagrama em blocos de um receptor (ponto de acesso) que compõe um sistema de ar condicionado.

O receptor atua como um concentrador das comunicações dos transmissores sem fio. Ele é alimentado por uma fonte e normalmente é colocado próximo do equipamento de controle. A interface de comunicação permite que o receptor possa se comunicar com outros dispositivos por exemplo, o controlador do ar condicionado.

O receptor utiliza praticamente os mesmos componentes do transmissor, ou seja, o transceptor é nRF2401 EVBOARD e o microcontrolador é o AT90S2313. A interface de comunicação do protótipo utiliza um MAX232 (fabricante MAXIM), que converte sinais digitais conforme a norma RS-232C. A interface RS-232C permite que o receptor se comunique diretamente com um microcomputador.

A interface de comunicação pode ser facilmente modificada para que o receptor possa atuar em um ambiente de rede (RS485, Ethernet etc.). Apenas a interface RS-232C foi utilizada para a realização dos testes do protótipo.

A Figura 6.5 mostra o protótipo elaborado. Nesta figura vemos a placa de desenvolvimento STK500 (Fabricante Atmel), com interface RS-232C onde foram realizados os testes de comunicação com um microcomputador.

Figura 6.5 – Foto do protótipo de um receptor (ponto de acesso) desenvolvido para teste.

6.2 IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE (*FIRMWARE*)

As funções a serem executadas pelo transmissor e pelo receptor estão contidas em um programa elaborado pelo projetista e gravado nos microcontroladores dos protótipos. Cada microcontrolador possui um pequeno software, também chamado *firmware*, responsável pelo funcionamento dos módulos. Os algoritmos a seguir mostram o funcionamento lógico dos módulos.

6.2.1 Algoritmo do Transmissor Sem Fio

O principal objetivo a ser alcançado na construção do transmissor de temperatura sem fio é a redução do consumo das baterias. Essa característica permite que o transmissor possa ser instalado em locais discretos ou locais onde a passagem de fios é crítica. Outra vantagem é a mobilidade, permitindo que o sensor possa ser mudado conforme a necessidade sem prejuízo para a instalação.

O maior impedimento para o uso de baterias é o consumo dos componentes. O algoritmo de software do transmissor deve ser capaz de gerenciar os componentes a fim de minimizar o consumo e ter uma vida longa das baterias. As operações básicas desempenhadas pelo transmissor sem fio são:

- Configuração do modo de operação do transceptor RF como transmissor;
- Leitura da temperatura fornecida pelo LM75;
- Envio da temperatura medida para o transceptor;
- Temporização para redução de consumo.

A Figura 6.6 mostra um exemplo de um algoritmo utilizado pelo transmissor.

Figura 6.6 – Exemplo de fluxograma para estudo de um transmissor de temperatura sem fio.

Quando o transmissor é ligado, a primeira tarefa a ser executada é a configuração do transceptor RF. A configuração do transceptor nRF2401 é feita através da transferência de 15 bytes. A configuração do transmissor é mostrada a seguir:

- Modo transmissor (TX);
- Frequência de operação: 2402 MHz (2,402 GHz);
- Taxa de transmissão dos dados: 1 Mbps;
- Potência de saída: 0 dBm;
- CRC (*Cycle Redundancy Check*) de 8 bits;
- Tamanho do pacote de dados: 4 bytes.

6.2.2 Algoritmo do Receptor

A função básica do receptor é encaminhar para o controlador do sistema de ar condicionado a informação de temperatura dos sensores instalados no ambiente. O receptor foi configurado para enviar a temperatura de forma contínua pelo canal serial (RS-232C). A Figura 6.7 mostra um exemplo de algoritmo utilizado por um receptor.

Figura 6.7 – Exemplo de fluxograma de um receptor (ponto de acesso).

O algoritmo do receptor dado como exemplo é bastante simples. A configuração é a mesma do transmissor, a não ser o modo, que é recepção. Quanto ao endereço do receptor, o transmissor utiliza esse parâmetro para garantir que os dados chegarão ao destino. A configuração utilizada pelo receptor é:

- Modo receptor (RX);
- Endereço do receptor: 0xBBBBBBBBBB (5 bytes para endereço);
- Frequência de operação: 2402 MHz (2,402 GHz);
- Taxa de transmissão: 1 Mbps;

- Potência de saída: 0 dBm;
- CRC (*Cycle Redundacy Check*) de 8 bits;
- Tamanho do pacote de dados: 4 bytes.

6.2.3 Protocolo de Comunicação RF

O protocolo de comunicação pode ser comparado a um idioma. Para que haja comunicação, as partes devem falar o mesmo idioma. Comparativamente, as informações enviadas pelo transmissor sem fio devem ter um formato que será interpretado pelo receptor e essa forma de “empacotar” os dados é chamada protocolo de comunicação.

A comunicação entre o transmissor e receptor só é possível se:

- Os módulos possuírem a mesma frequência de operação (2,402 GHz) e a mesma taxa de transferência de dados (1 Mbps);
- A distância entre os módulos for suficiente;
- Não houver obstáculos paredes, por exemplo, ou interferência (dispositivos que operam na mesma frequência etc.);
- O protocolo de comunicação RF utilizado é o mesmo para ambos os módulos.

A Figura 6.8 mostra o protocolo de comunicação utilizado pelo módulo RF (nRF2401 EVBOARD).

Preâmbulo	Endereço	Dados	CRC
-----------	----------	-------	-----

Figura 6.8 – Formato dos pacotes transmitidos pelo nRF2401.

Os campos do protocolo são descritos a seguir:

- **Preâmbulo** – esse campo é obrigatório e tem 8 bits de tamanho. O valor desse campo depende do primeiro bit do endereço, conforme mostra a Tabela 6.1

Tabela 6.1 – Valor de preâmbulo em função do primeiro bit do endereço.

Preâmbulo	1º Bit do Endereço
01010101	0
10101010	1

- **Endereço** – o endereço é obrigatório e pode ter de 8 a 40 bits de tamanho. O endereço indica para qual receptor a informação será enviada.
- **Dados** – esse campo representa os dados a serem transmitidos. O tamanho máximo dos dados é de 256 bits (32 bytes) menos o endereço (8 a 40 bits) e o CRC (8 ou 16 bits). No caso, o tamanho do pacote de dados é de 32 bits (4 bytes).
- **CRC** – o CRC (*Cyclic Redundancy Check*) é utilizado para garantir a integridade dos dados transmitidos. Pode ter tamanho de 8 ou 16 bits e é calculado automaticamente pelo nRF2401.

6.2.4 Protocolo de Comunicação do Canal Serial (RS-232C)

O módulo receptor, além do canal de comunicação RF, possui um canal de comunicação serial. Esse canal de comunicação é responsável pela transferência dos valores digitais dos sensores para o controlador do ar condicionado. No caso do protótipo, onde o controlador foi substituído por um computador, o canal serial utiliza a interface RS-232C. Essa interface pode ser facilmente substituída por outras como RS-485, Ethernet etc.

A taxa de comunicação com o computador é de 9600 bits por segundo (bps). O protocolo de comunicação do canal serial foi definido pelo projetista e é mostrado na Figura 6.9.

Endereço	Dados				CRC
D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅

Figura 6.9 – Formato dos pacotes de dados do canal serial (RS-232C).

Os campos do protocolo são descritos a seguir:

- **Endereço** – o endereço corresponde ao destino do pacote de dados e tem tamanho de 8 bits. Para a comunicação com o computador o endereço tem valor 0.
- **Dados** – esse campo representa os dados a serem transmitidos. O tamanho os dados é de 4 bytes e contém o valor da temperatura lida.
- **CRC** – o CRC (*Cyclic Redundancy Check*) utilizado possui tamanho de 8 bits. O CRC é calculado conforme a equação (1).

$$CRC = - \sum_{n=0}^4 D_n \quad (1)$$

A transferência para o computador exige um software que se comunica com o receptor. Para tal, um software simples foi implementado para comprovar o funcionamento do sistema. Esse software apenas mostra o valor da temperatura enviada pelo transmissor.

6.3 TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A avaliação dos dispositivos sem fios foi feita tendo-se, como referência, a instalação de um sistema de ar condicionado. Os testes foram realizados com os protótipos mostrados anteriormente e a análise dos resultados ficou restrita aos transmissores e receptores sem fios.

O conjunto foi instalado em uma sala de escritórios com aproximadamente 70 m² (7 m x 10 m) com divisórias de madeira e computadores em vários pontos. Os sinais de tensão foram medidos através de um osciloscópio e a corrente foi calculada por meio de um resistor de 2,7 Ω em série com a bateria. A distância entre os módulos foi de aproximadamente 10 m.

Em todos os testes foram transmitidos pacotes de dados com um tamanho de 11 bytes (88 bits). O tempo de transmissão de um pacote de dados é de aproximadamente 96 μ s. O transmissor demora 195 μ s para sair do modo *STAND-BY* (modo de baixo consumo) para entrar no modo ATIVO.

6.3.1 Bateria

A bateria do transmissor é um componente importante e o seu consumo é uma das grandes preocupações. Para o teste foi utilizada uma bateria alcalina não recarregável de 9 V. A Figura 6.10 mostra a curva de descarga típica da bateria.

Figura 6.10 – Curva característica de descarga de uma bateria alcalina de 9 V.

Fonte: www.duracell.be/oem/Pdf/MN1604.pdf

Essa bateria possui uma autonomia de aproximadamente 350 horas (15 dias) com uma corrente de 2 mA. Como estimativa, se a corrente for menor do que 1 mA, a autonomia da bateria será de 1 mês. Outra opção é a utilização de baterias recarregáveis NiMH (*Nickel Metal Hydride* – Hidreto Metálico e Níquel), que possuem maior autonomia.

6.3.2 Modo de Operação 1

O modo de operação 1 utiliza 1 transmissor e 1 receptor. Essa é a condição mais simples para o teste. O funcionamento básico é o seguinte: o transmissor sai da condição de repouso (baixo consumo da bateria), lê a temperatura, transmite o seu valor e volta à condição de repouso. O receptor coleta o valor da temperatura e envia esse valor pelo canal serial. A Figura 6.11 mostra o diagrama do teste.

Figura 6.11 – Diagrama em blocos do sistema no modo de operação 1.

Nesta condição de teste a transmissão é feita somente em um sentido e o intervalo entre cada transmissão foi definido em 3,14 segundos. Esse intervalo foi definido para que a vida útil da bateria seja longa e pode ser alterado conforme a necessidade. Não foram detectadas falhas de comunicação no ambiente instalado, mas tais falhas devem ser previstas no sistema para que o operador possa tomar as devidas providências.

Figura 6.13 – Detalhe do pulso da corrente no modo de operação 1.

Apesar de não aparecer na medição mostrada na Figura 6.13, há um intervalo de 291 μs onde o transmissor envia o pacote de dados (195 μs para o transmissor entrar no modo ATIVO e 96 μs para transmissão) e o seu consumo neste período é de 13 mA (valor medido). A transmissão contribui com o acréscimo de apenas 1 μA na corrente média e por isso esse valor foi desprezado. Os pulsos mostrados no gráfico da Figura 6.13 correspondem ao momento que o microcontrolador lê e envia o valor da temperatura para o módulo RF.

Com a corrente calculada de 645 μA podemos estimar que o uso contínuo da bateria de 9 V será superior a 30 dias. Apesar de ser um período curto para a troca das baterias, em alguns casos, esse período pode ser necessário para a verificação das condições do transmissor (manutenção preventiva). O sistema pode monitorar o estado da bateria.

Caso o usuário necessite de um período maior para manutenção, uma opção seria a troca da bateria de 9 V por baterias recarregáveis (NiMH). Essas baterias podem ter diversas capacidades. Para efeito de cálculo de autonomia foi escolhida uma bateria com capacidade de 3300 mAh (miliAmpère x hora). O cálculo da autonomia é mostrado pela equação (4).

$$\text{Autonomia} = \frac{3300 \text{ mA.h}}{645 \mu\text{A}} = 5116 \text{ horas} = 213 \text{ dias} \quad (4)$$

As baterias recarregáveis podem manter o transmissor constantemente ligado por 213 dias (mais de 7 meses) nas condições de protótipo (condições estas que podem ser melhoradas). A vantagem das baterias NiMH é que elas podem ser recarregadas durante o procedimento de manutenção preventiva dos transmissores. A desvantagem é o custo elevado dessas baterias.

6.3.3 Modo de Operação 2

O modo de operação 2 utiliza vários transmissores e apenas 1 receptor, conforme a Figura 6.14. Essa é a condição mais apropriada para grandes ambientes e o controle da temperatura pode ser feito por zonas.

Figura 6.14 – Diagrama em blocos do sistema no modo de operação 2.

A Figura 6.14 mostra uma aplicação de diversos transmissores e apenas 1 receptor. Nessa condição, a comunicação é feita somente dos transmissores para o receptor, ou seja, somente em um sentido. Nesse modo de operação cada transmissor possui um endereço que o identifica e é enviado no pacote de dados. Assim, o receptor e o software do computador podem identificar de qual transmissor partiu a comunicação.

A vantagem desse modelo está na forma com que o controle pode manipular os valores de temperatura. O sistema pode controlar a temperatura por zonas ou pela média dos sensores (dentro de uma única sala, por exemplo).

Neste modelo, a colisão de dados (interferência) causada pelas transmissões pode causar falha de comunicação, conforme mostra a Figura 6.15. Esse problema acontece porque os transmissores utilizam a mesma frequência e o mesmo protocolo e as transmissões são assíncronas.

Figura 6.15 – Interferência causada pela influência dos transmissores no modo de operação 2.

Uma solução possível para esse problema é fazer com que cada transmissor se comunique em momentos diferentes. Dessa maneira, a probabilidade de colisão entre transmissores é praticamente zero.

A situação de colisão foi analisada com a medição do intervalo de transmissão do protótipo. Neste, o tempo dos dados no ar é de 96 μs (88 bits). A probabilidade de colisão entre dois transmissores pode ser calculada através da equação (5).

$$P_{\text{colisão}} = \frac{96 \mu\text{s}}{3,14 \text{ s}} \cdot 100\% = 0,003 \% \quad (5)$$

Se o número de transmissores aumenta, a possibilidade de colisão também aumenta, mas esse valor não é significativo. Os fatores que podem gerar a colisão entre transmissores são: número de transmissores, tamanho do pacote de dados e a taxa de transmissão.

6.3.4 Modo de Operação 3

O modo de operação 3 também utiliza vários transmissores e apenas 1 receptor, como no modo de operação 2. A principal diferença está no algoritmo de funcionamento dos transmissores e do receptor que permite a comunicação bilateral entre os módulos, conforme mostra a Figura 6.16.

Figura 6.16 – Diagrama em blocos do sistema no modo de operação 3.

A comunicação bilateral permite que os transmissores recebam comandos do software de supervisão (computador) através do módulo receptor (chamado de ponto de acesso ou AP). Cada transmissor possui um endereço que o identifica na rede e esses transmissores podem ser colocados em modo de espera (*stand-by*) ou em operação pelo software de supervisão.

Esse modo de operação não exige a modificação do hardware, somente dos programas dos transmissores e do receptor. A principal vantagem desse modo de operação é o maior controle dos dispositivos instalados.

O modo de operação 3 funciona da seguinte forma:

- Inicialmente todos os transmissores estão no modo de escuta (prontos para receber comandos);
- O ponto de acesso envia um comando de requisição da temperatura endereçado a T1;
- Todos os transmissores recebem o comando, mas somente T1 reconhece;

- O transmissor T1 lê a temperatura e envia seu valor para o ponto de acesso;
- O ponto de acesso recebe a resposta de T1;
- O ciclo é repetido para todos os transmissores continuamente.

O algoritmo de funcionamento é semelhante a um jogo de perguntas e respostas. O ponto de acesso pergunta para T1 a temperatura e T1 responde. Depois o ponto de acesso pergunta para T2 e este responde. E assim sucessivamente para todos os transmissores.

A Figura 6.17 mostra o fluxo dos pacotes de dados na rede de transmissores.

Figura 6.17 – Pacotes de dados durante as requisições e respostas dos transmissores no modo de operação 3.

A principal desvantagem do modo de operação 3 é o consumo excessivo de energia dos transmissores. O motivo principal é que na maior parte do tempo os transmissores estão no modo de escuta. O modo de escuta exige que o módulo RF fique ligado, gerando um consumo de 26 mA (medido), o que torna inviável o uso de baterias. Por exemplo, com esse consumo a autonomia do transmissor com baterias NiMH de 3300 mA.h é de apenas 5 dias.

Em alguns casos o transmissor pode ser usado com uma fonte de alimentação externa permitindo que o sistema funcione como uma solução de automação predial. O transmissor precisa ser instalado em um local próximo de uma tomada, o que impede a mobilidade, flexibilidade e confiabilidade da instalação desses transmissores. Na prática esse procedimento não é adotado.

Este modo de operação necessita que todos os transmissores estejam devidamente cadastrados para que eles possam ser requisitados pelo sistema. Isso torna o sistema mais confiável e tolerante às falhas como respostas indevidas de transmissores não cadastrados.

Caso algum transmissor não responda, o ponto de acesso pode repetir a requisição ou gerar uma mensagem de falha para o operador.

6.3.5 Modo de Operação 4

O modo de operação 4 possui os mesmos dispositivos do modo 3, mas o algoritmo de comunicação entre os transmissores e o ponto de acesso foi modificado para reduzir o consumo de energia dos transmissores.

A grande diferença do algoritmo é que os transmissores ficam somente um pequeno intervalo de tempo no modo de escuta (recepção de comandos). Durante o resto do tempo o transmissor está no modo de espera (*stand-by*). Esse modo de operação necessita que todos os transmissores e o receptor estejam sincronizados entre si.

A sincronização é um procedimento realizado por todos os transmissores durante as transmissões do ponto de acesso. Nesse procedimento os relógios internos dos microcontroladores são colocados em fase para que todos possam medir os mesmos intervalos de tempo.

A idéia básica deste algoritmo é reservar um intervalo de tempo para a comunicação de cada transmissor com o ponto de acesso, conforme mostra a Figura 6.18.

Figura 6.18 – Intervalos de tempo reservados para cada transmissor (modo de operação 4).

Os seguintes valores foram levados em consideração para o teste do algoritmo no protótipo:

- Número de transmissores: 16;
- Período de varredura dos transmissores: 3,2 s;
- Período reservado para cada transmissor: 200 ms;
- Tempo máximo do transmissor no modo escuta (recepção de comandos): 2 ms;
- Tempo de transmissão de 1 pacote de dados: 500 μ s.

O tempo de transmissão de 1 pacote de dados foi fixado em 500 μ s. Na verdade, o transmissor foi configurado para enviar pacotes de 11 bytes. O tempo para transmissão de 88 bits (11 bytes) é de 291 μ s. O intervalo de 500 μ s é corresponde à transmissão de 304 bits (38 bytes).

O número de transmissores foi fixado em 16 para facilitar o desenvolvimento do algoritmo, mas pode ser alterado conforme a necessidade do sistema. Inicialmente o ponto de acesso envia um comando para T1 (transmissor 1) e este deve responder durante seu intervalo reservado de tempo. Na seqüência, o ponto de acesso envia um comando para T2 (transmissor 2) e assim sucessivamente. A varredura deve passar por todos os transmissores cadastrados no software do computador (supervisório) e depois ciclo é reiniciado.

Durante o funcionamento da rede o ponto de acesso envia a cada 200 ms requisições individuais para os transmissores. O transmissor que receber sua requisição deverá responder somente dentro do seu intervalo reservado de tempo para que não haja falha de comunicação.

Figura 6.19 – Detalhe da transmissão dos pacotes de dados durante o período reservado para cada transmissor.

O funcionamento desse modelo depende do cadastramento prévio dos transmissores por meio de endereços que os identifica. No caso do exemplo, os endereços vão de 1 a 16. Esses endereços são importantes para que o transmissor possa ser facilmente identificado pelo usuário do sistema.

O modelo de varredura do sistema, associado com o sincronismo existente entre os transmissores, permite que o consumo de energia desses transmissores possa ser reduzido. Como a varredura é seqüencial, o transmissor sincronizado pode calcular exatamente o momento em que deve mudar seu estado de espera (*stand-by*) para o modo escuta (recepção de comando), causando uma redução substancial no consumo, conforme mostra a Figura 6.20.

Figura 6.20 – Detalhe do sincronismo do transmissor para a recepção e transmissão de dados.

O modo de operação 4 (vários transmissores e um ponto de acesso com comunicação bilateral) é apresentado a seguir:

Inicialmente todos os dispositivos estão desligados. Depois de ligado, o ponto de acesso envia uma requisição para cada transmissor a cada 200 ms. Essa varredura permite que o ponto de acesso verifique quais transmissores estão desligados ou ativos.

Os transmissores T1 e T3, por exemplo, são ligados. Esses transmissores ficarão no modo de escuta (recepção de comandos) até que a requisição enviada pelo ponto de acesso chegue a eles.

T1 recebe sua requisição e envia a resposta. T3 também recebe a requisição, mas não responde. Depois disso, T1 entra no modo de espera (baixo consumo), já sincronizado com o ponto de acesso.

Na sequência, o ponto de acesso envia um comando para T2. O transmissor T2 está desligado e não responde. O ponto de acesso envia uma mensagem para o software de controle o estado de T2. T3 também recebe a requisição, mas não responde.

Finalmente T3 recebe a requisição, envia a resposta e entra no modo de espera. A varredura continua por todos os transmissores.

O ciclo completo de varredura acontece em 3,2 s. Os transmissores foram sincronizados na primeira comunicação e o ciclo de varredura é medido por todos os transmissores ligados (T1 e T3). Assim, os transmissores T1 e T3 sabem exatamente o momento que devem entrar no modo de escuta (recepção de comandos) para receber a requisição do ponto de acesso.

O transmissor T1 entrará no modo de escuta 1 ms antes que o ponto de acesso envie a requisição para T1 e permanecerá mais 1 ms antes de enviar a resposta. O tempo total no modo de escuta é de 2 ms. O processo se repetirá a cada 3,2 s para todos os transmissores ligados. A Figura 6.21 mostra os pulsos de corrente gerados durante o modo de recepção e de transmissão do transmissor.

Figura 6.21 – Gráfico da corrente (tensão sobre resistor) durante a recepção e a transmissão de dados (modo de operação 4).

Nas condições de protótipo, a corrente média (I_m) pode ser calculada através do sinal em tensão medido pelo osciloscópio (V_m), conforme mostra a equação (6).

$$I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{V_m}{2,7 \Omega} \quad (6)$$

A tensão média foi calculada pela integração numérica do sinal medido dividido pelo período entre cada transmissão, conforme a equação (7).

$$V_m = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot dt \quad (7)$$

A análise do consumo foi feita por períodos. O intervalo entre as transmissões (3,2 s) foi dividido em três períodos:

- **Espera** – intervalo no qual o transmissor está em modo de espera (*stand-by*) ou lendo o sensor de temperatura;

- **Recepção** – o transmissor espera um comando vindo do ponto de acesso;
- **Transmissão** – o transmissor envia o pacote de dados para o ponto de acesso.

O consumo nestes períodos foi medido através das equações (8), (9) e (10).

$$I_m(\text{esp}) = \frac{1}{2,7\Omega} \cdot \left(\frac{1,44\text{mV} \cdot 3048\text{ms} + 6,5\text{mV} \cdot 46\text{ms} + 8,3\text{mV} \cdot 104\text{ms}}{3198\text{ms}} \right) = 643\mu\text{A} \quad (8)$$

$$I_m(\text{rec}) = \frac{79\text{mV}}{2,7\Omega} = 29\text{mA} \quad (9)$$

$$I_m(\text{trans}) = \frac{34\text{mV}}{2,7\Omega} = 13\text{mA} \quad (10)$$

O resultado das equações anteriores mostra que durante o modo de recepção (escuta) consumo é maior, mas o tempo neste modo é pequeno. A Tabela 6.2 abaixo mostra o consumo nos períodos.

Tabela 6.2 – Corrente e consumo durante a operação do transmissor.

Intervalo	Corrente	Período	Corrente Média
Espera	643 μA	3197,5 ms	642 μA
Recepção	29 mA	2 ms	18 μA
Transmissão	13 mA	0,5 ms	2 μA
Total →		3,2 s	662 μA

A corrente média nos intervalos mostra que o maior consumo está no modo de espera, momento em que o microcontrolador lê a temperatura do sensor. O algoritmo apresentado pode ser modificado para minimizar ainda mais o consumo durante a leitura do sensor.

A corrente média final do circuito é de 662 μA . Nesse modo de operação a autonomia é superior a 30 dias com baterias alcalinas de 9 V e 7 meses com baterias NiMH (3300 mA.h).

6.4 CONCLUSÕES E FUTURAS IMPLEMENTAÇÕES

As maiores preocupações durante o desenvolvimento do protótipo foram o consumo e o custo final dos dispositivos. Com relação ao consumo, o estudo feito demonstra que existe a possibilidade de se utilizar baterias (alcalinas ou recarregáveis) em determinadas condições para a operação de um sistema de automação. A Tabela 6.3 mostra um resumo dos testes feitos.

Tabela 6.3 – Resultados dos testes feitos no protótipo.

Modo de Operação	Tipo de Comunicação	Consumo	Tempo de Vida das Baterias (NiMH – 3300 mA.h)
1 e 2	Unidirecional	645 μ A	213 dias
3	Bidirecional	26 mA	5 dias
4	Bidirecional	662 μ A	207 dias

A Tabela 6.3 mostra que o modo de operação 4 (comunicação síncrona de vários transmissores com um ponto de acesso) apresentou vantagens com relação aos outros. Essas vantagens são:

- Operação de diversos transmissores em rede;
- Comunicação bilateral (transmissão e recepção de dados);
- Baixo consumo de energia, permitindo uso de baterias;
- Baixa probabilidade de interferência dos transmissores (modo síncrono de transferência).

Todos os modos de operação foram testados dentro de um ambiente fechado e a distância entre os módulos era de 10 m. Testes não documentados neste trabalho demonstram que o alcance em ambiente aberto pode chegar aos 100 m.

O protótipo pode ser bastante melhorado porque os componentes utilizados possuem um consumo relativamente alto. No caso do microcontrolador, ele poderia ser substituído por outro com maior capacidade de memória, com maior velocidade e menor consumo (com características de gerenciamento de energia, por exemplo). Outros ajustes podem ser feitos no circuito de modo que o consumo seja muito menor do que o atual.

Por curiosidade, foram feitos cálculos preliminares de consumo com outros microcontroladores com características de baixo consumo e o resultado obtido demonstra que o uso de tais microcontroladores pode reduzir o consumo em até 40 %. Com esse valor, a autonomia de baterias (3300 mA.h) poderia chegar a 1 ano.

Outra forma de se reduzir o consumo é aumentar o tempo de varredura dos sensores. No caso do protótipo, o tempo de varredura utilizado foi de 3,2 s. Esse tempo pode ser aumentado conforme a necessidade da instalação. O gráfico da Figura 6.22 mostra a relação entre o tempo de varredura e o consumo do transmissor no modo de operação 4. O gráfico da Figura 6.23 mostra a autonomia das baterias em função do tempo de varredura no modo de operação 4.

Figura 6.22 – Gráfico de consumo do transmissor pelo tempo de varredura no modo de operação 4.

Figura 6.23 – Gráfico do tempo de vida útil das baterias (NiMH – 3300 mA.h) pelo tempo de varredura no modo de operação 4.

Com relação ao custo final dos dispositivos, o valor bruto do protótipo ficou em torno de 80 reais (1 transmissor e 1 receptor). O custo de fabricação de placas e as horas de trabalho de software não foram computados. Atualmente, o custo das baterias NiMH (3300 mA.h) é de 28 reais e o custo de uma bateria alcalina (9 V) é de 9 reais.

As interferências (colisões) de outros transmissores que operam na mesma frequência (Bluetooth, ZigBee etc.) não foram testadas, mas podem ocorrer. Esse problema pode ser evitado através de um novo algoritmo de software nos transmissores para alterar a frequência de operação. O módulo transmissor pode operar em até 125 canais diferentes. Teoricamente é possível ter 125 redes diferentes operando no mesmo ambiente, mas na prática esse número deve ser muito menor. Outros fatores que contribuem para a redução da colisão das comunicações sem fio são: o aumento da taxa de comunicação e a redução do tamanho do pacote de dados.

A influência de obstáculos na atenuação do sinal dos transmissores não foi testada. Alguns artigos pesquisados mostram que a alta frequência de operação (2,4 GHz) é fortemente atenuada por paredes, pisos e outros obstáculos. A atenuação do sinal pode ser resolvida com a instalação de repetidores. Os repetidores teriam a única função de retransmitir o sinal vindo dos transmissores e do ponto de acesso.

Como proposta de trabalho futuro, o algoritmo pode ser modificado para que os transmissores se comuniquem entre si, permitindo a construção de uma rede ad hoc. Os módulos transmissores funcionariam como repetidores e podem retransmitir mensagem de outros transmissores. O maior desafio desse modelo será a redução do consumo porque os transmissores ficarão mais tempo ligados.

É provável que o custo dos dispositivos sem fios venha a cair com o desenvolvimento de novas tecnologias de transmissão e com o aumento da demanda por conta das aplicações, principalmente na automação residencial e predial. Estudos demonstram que, em algumas situações, os dispositivos sem fio podem substituir os sensores com fio a um custo relativamente menor. Essas situações podem ser:

- Construções antigas cuja estrutura não pode ser modificada (casas e prédios históricos);
- Museus, hotéis e edifícios comerciais onde a passagem de fios pode ser crítica e a instalação dos sensores deve ser discreta (sem fios à mostra);
- Construções onde a instalação com fios está pronta, mas necessita de ampliação;
- Locais onde a quantidade de fios é grande e a instalação física é complicada.

O resultado dos testes demonstra que o uso de transmissores sem fio pode ser uma solução para o monitoramento e controle de grandezas físicas. Apesar de o protótipo utilizar um sensor de temperatura, o circuito pode ser modificado para receber outros sensores, tais como sensores de presença, fumaça, intensidade luminosa, etc.

Outra proposta de implementação futura seria integrar vários sensores a um único transmissor visando reduzir a quantidade física de dispositivos instalados. A vantagem seria que o transmissor poderia informar, por exemplo, a temperatura, a intensidade luminosa e a presença de pessoas através de um único transmissor. Dispositivos integrados sem fio teriam custo reduzido, facilidade de instalação e configuração, além de não necessitar de mão-de-obra especializada para a instalação.

7 CONCLUSÕES

Nos últimos anos, as redes de telefonia celular, de computadores sem fio e PDA's (*Personal Digital Assistants*) cresceram assustadoramente enquanto as aplicações sem fio para monitoramento e controle na automação predial e residencial praticamente não existem. Entretanto, os fabricantes de equipamentos para automação e integradores de sistemas concordam que o uso de redes de transmissores sem fio na automação predial é apenas uma questão de tempo e será inevitável devido à redução de custo dos equipamentos, evolução da tecnologia e flexibilidade dos sensores e atuadores.

Existem grandes perspectivas com relação ao crescimento dos investimentos na área de automação predial e residencial em todo o mundo, o que pode impulsionar o uso de tecnologias *wireless*. Nos Estados Unidos são estimados US\$ 2,8 bilhões em sistemas de automação até 2006. Na Coreia do Sul, 10 milhões de residências serão automatizadas até 2007, consumindo um total de US\$ 1,7 bilhão. No Brasil, o mercado cresce 40 % ao ano e há 1 milhão de residências com potencial para automação (NEGRÃO, 2004).

Atualmente, o custo de sensores sem fio ainda é alto se comparado com os sensores comuns e por isso não há grande aceitação dessa tecnologia no mercado da automação predial. Para que haja essa aceitação, o dispositivo *wireless* deve ser mais barato ou ter mais vantagens do que o dispositivo comum, o que justificaria o custo. Como a maior parte das aplicações na área da automação predial e residencial utiliza equipamentos sem fio originalmente desenvolvidos para a indústria e adaptados para operar nesses ambientes, o custo deve diminuir com o aumento do uso desses dispositivos por outros setores.

Alguns estudos de viabilidade mostram que o custo de instalação da automação *wireless* pode ser reduzido dependendo de alguns itens (KINTNER-MEYER, M.; BRAMBLEY, M. R., 2005):

- Número de sensores e equipamentos que serão instalados;
- Quantidade de fios que seriam utilizados se a instalação fosse com cabos;
- Se a construção já existe, pois o custo de instalação de fios é menor para edifícios em construção;
- Se existe previsão de ampliação futura, pois equipamentos *wireless* são mais fáceis de se configurar e instalar;

- Pesquisa de tecnologias, soluções e equipamentos. No mercado da automação, as soluções sem fio ainda são consideradas como novidades e o custo da integração ainda é alto.

Outro ponto importante é o local de instalação do sensor, que deve ser adequado para que o sistema de automação seja otimizado e o edifício tenha um melhor aproveitamento dos recursos de iluminação, temperatura, ventilação, condicionamento de ar etc.

Com relação ao protótipo desenvolvido, os resultados dos testes demonstram a viabilidade do uso de transmissores sem fio na automação predial. Nos testes, a maior preocupação foi o consumo, já que a proposta é a maior autonomia possível das baterias. Como resultado, a autonomia chegou a quase 7 meses de uso contínuo.

A próxima etapa deste trabalho será a modificação do protótipo para a elaboração de uma rede ad hoc de comunicação entre dispositivos. Essa rede deverá ser configurada automaticamente quando um transmissor for ligado. Novamente os desafios são o consumo das baterias e o custo dos dispositivos.

Apesar de muitos prós e contras, a tecnologia *wireless* se apresenta como mais uma opção para as aplicações de monitoramento e controle de funções em um edifício. As aplicações sem fio utilizadas na indústria serviram como referência para os integradores de sistemas para automação de edifícios e residências e o seu uso em edifícios vem crescendo e se tornando cada vez mais comum.

REFERÊNCIAS*

AGUIAR, J. C. R.; RODRIGUES, P. T.; MAIA, A. C. B. Automação e uso de energia em edifício: novas relações e possibilidades. **ELETRICIDADE MODERNA**, São Paulo, n. 292, p. 178-184, jul. 1998.

ALVAREZ, A. L. M. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares**. São Paulo, 1998. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

A REDE itinerante da USP. **InfoExame**. São Paulo, n. 222, p. 71-72, set. 2004.

BARROS, F. A. R. **Redes de sensores sem fio**. 2002. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/seminarios/semin2002_1/flavio>. Acesso em 28 de junho de 2005.

BERNADEN, J. A. **The Intelligent Building Sourcebook**, Prentice-Hall: 1988.

BETTONI, R. L. **Projeto de um sistema de supervisão e controle predial**. São Paulo, 1985. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

_____. **Controle em edifícios inteligentes**. Disponível em: <http://www.portaldaautomacao.com.br/artigo_013.asp>. Acesso em: 29 de abril de 2005.

BLUETOOTH. Disponível em <<http://www.bluetooth.org>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2005.

CABEAMENTO estruturado: o ponto de partida para a automação residencial. Disponível em: <http://www.portaldaautomacao.com.br/projeto_002.asp>. Acesso em: 29 de abril de 2005.

CALDAS, C. P.; MANUEL, F.; PERDIGÃO, R. et al. **Sistema de segurança para edifícios**. Portugal: Universidade de Coimbra, 1996.

CHIPCON. **ZigBee/IEEE 802.15.4**: One-stop-shop with world leading technology. Disponível em: <http://www.chipcon.com/files/ZigBee_Brochure.pdf>. Acesso em: 30 de setembro de 2004.

CHRISTOFFERSEN, J.; PETERSEN, E.; JOHNSEN, K. Avaliação de sistemas de aproveitamento da luz natural e controles de iluminação. **ELETRICIDADE MODERNA**, São Paulo, n. 294, p. 68-88, set. 1998.

CIRRONET. **ZigBee wireless ethernet gateway: ZG-2400E**. Disponível em: <http://www.cirronet.com/pdf/brochure_zg2400e.pdf>. Acesso em: 06 de julho de 2005.

COMER, D. E. **Redes de computadores e internet**. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

* De acordo com:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

COMER, D. E.; STEVENS, D. L., **Interligação em rede com TCP/IP**: Projeto, implementação e detalhes internos. 3ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

CRAIG, W. C. **ZigBee: wireless control that simply works**. Disponível em: <http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=5438>. Acesso em: 02 de junho de 2005.

DORNAN, A. **Wireless communication**: o guia essencial de comunicação sem fio. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

EVOLUÇÃO, características e tendências dos sistemas de gerenciamento de edificações. **ELETRICIDADE MODERNA**, São Paulo, n. 254, p. 30-58, maio 1995.

FLOOD, J.; CARMICHAEL, L. As vantagens da implantação de tarifas em tempo real nos EUA. **ELETRICIDADE MODERNA**, São Paulo, n. 271, p. 34-45, out. 1996.

FRANKLIN, C. **How Bluetooth works**. Disponível em: <<http://electronics.howstuffworks.com/bluetooth.htm>>. Acesso em: 30 de abril de 2005.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERES. **IEEE standard for local and metropolitan area networks – Port-based network access control**. New York, 2004. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1X-2004.pdf>>. Acesso em: 26 de junho de 2005.

_____. **Part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications**. New York, 1999. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-1999.pdf>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2005.

_____. **Part 11a: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications**: High-speed physical layer in the 5 GHz band. New York, 1999. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11a-1999.pdf>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2005.

_____. **Part 11b: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications**: High-speed physical layer extension in the 2.4 GHz band. New York, 1999. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11b-1999.pdf>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2005.

_____. **Part 11g: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications**: Amendment 4: Further higher data rate extension in the 2.4 GHz band. New York, 2003. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11g-2003.pdf>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2005.

_____. **Part 15.1: wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs)**. New York, 2002. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.1-2002.pdf>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2005.

_____. **Part 15.4: wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANs)**. New York,

2003. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2003.pdf>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2005.

INTELLIGENT buildings: reality or illusion? IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE, U.S.A., n. 04. Apr. 1991.

JUNGMAN, M.; PESSÔA, M. S. P. Os edifícios de alta tecnologia e as engenharias de informação e de software. **ELETRICIDADE MODERNA**, São Paulo, n. 278, p. 70-76, maio, 1997.

KAHN, M.. Edifícios de alta tecnologia, integração de sistemas e tendências. **ELETRICIDADE MODERNA**, São Paulo, n. 267, p. 38-66, jun. 1996.

KINNEY, P. K. **ZigBee technology: wireless control that simply works**. 2003. Disponível em: <http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=5162>. Acesso em: 02 de junho de 2005.

KINTNER-MEYER, M.; BRAMBLEY, M. R. **Wireless sensors: how cost-effective are they in commercial buildings?** Disponível em: <<http://www.pnl.gov/wireless-buildings/ASHRAE%20Journal%20Wireless%20Article.pdf>>. Acesso em: 07 de julho de 2005.

KIRSCHNING, I. **Edifícios inteligentes**. México, 1992. Tese de Licenciatura em Engenharia em Sistemas Computacionais. Departamento de Engenharia em Sistemas Computacionais da Universidade de Américas Puebla.

LOWE, D. **Redes locais para leigos**. Tradução Altair Dias Caldas de Moraes. São Paulo: Berkeley, 1994.

MARTE, C. L. **Automação predial: a inteligência distribuída nas edificações**. São Paulo: Carthago e Forte, 1995.

MARTE, C. L.; COSTA, H. R. N.; MARTINI, J. S. C. Barramentos de campo para automação predial, residencial e industrial. **ELETRICIDADE MODERNA**, São Paulo, n. 278, p. 58-68, maio, 1997.

MARTE, C. L.; MARTINI, S. C. Edifícios com alta tecnologia e barramentos de campo. **SUSESUSP**. São Paulo, 1993. p. 365-375.

MEUCCI, D. J. **Tipos de cabeamento**. Disponível em: <http://www.portaldaautomacao.com.br/artigo_011.asp>. Acesso em: 29 de abril de 2005.

MILLER, M. **Descobrimos Bluetooth**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

MIRANDA, A. P. R. Edifício Petros II: 3500 pontos supervisionados e controlados. **ELETRICIDADE MODERNA**, São Paulo, n. 280, p. 24-30, jul. 1997.

NAKAMURA, F. G. **Planejamento dinâmico para controle de cobertura e conectividade em redes de sensores sem fio planas**. Belo Horizonte, 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais.

NEGRÃO, P. Tudo sob controle. **Revista Lumière**, São Paulo, n. 74, p. 54-62, jun. 2004.

NEVES, R. P. A. A. **Espaços arquitetônicos de alta tecnologia: os edifícios inteligentes**. São Carlos, 2002. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

NORDIC SEMICONDUCTOR. **Introduction to wireless network**. Disponível em: <http://www.nordicsemi.no/files/Product/white_paper/Introduction_to_wireless_network.pdf>. Acesso em: 19 de junho de 2005.

_____. **Low cost networks, ZigBee & 802.15.4**. Disponível em: <http://www.nordicsemi.no/files/Product/white_paper/Low_cost_Networks_Zigbee_802_15_4_B.pdf>. Acesso em: 19 de junho de 2005.

_____. **RF communication in a multi-user environment**. Disponível em: <http://www.nordicsemi.no/files/Product/white_paper/WP_RF-CommInMultiUserEnv.pdf>. Acesso em: 19 de junho de 2005.

NUNES, R.; SÊRRO, C. **Edifícios inteligentes: conceitos e serviços**. Disponível em: <<http://mega.ist.utl.pt/~ic-eid/docs.htm>>. Acesso em: 03 de julho de 2005.

O MERCADO de sistemas de automação predial na Europa. **ELETRICIDADE MODERNA**, São Paulo, n. 271, p. 70-78, out. 1996.

OPEN Communications Protocols. Disponível em: <<http://esta.kiwi.co.uk/groups/BCG/library/ocp.asp>>. Acesso em: 11 de maio de 2005.

PEREIRA, M. R.; AMORIM, C. L.; CASTRO, M. C. S. **Tutorial sobre Redes de Sensores**. Disponível em: <<http://magnum.ime.uerj.br/cadernos/cadinf/vol14/3-clicia.pdf>>. Acesso em: 28 de junho de 2005.

PINTO, J. R. **Utilização racional de energia elétrica em instalações comerciais empregando sistemas de automação**. São Paulo, 2000. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

SIEMENS. **Automação e Controle**. Disponível em: <<http://www.siemens.com.br/templates/produto.aspx?channel=32&produto=6851>>. Acesso em: 01 de julho de 2005.

SOUSA, M. A. B. **Estudo comparativo entre a aplicação de sistemas dedicados e a utilização de controladores lógico-programáveis na automação predial**. São Paulo, 2004. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

TANENBAUM, A. S. **Computer networks**. 3ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

_____. **Redes de computadores**. 4ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

TEIXEIRA, S. R. **O que é biometria?** Disponível em: <http://www.portaldaautomacao.com.br/artigo_010.asp>. Acesso em: 29 de abril de 2005.

TORRES, G. **Hardware curso completo**. 4ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2001

_____. **Redes de computadores: Curso Completo**. 1ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2001.

TYNEX INFORMÁTICA. **Conceituação do sistema de automação predial**. São Paulo, 1996. p. 42.

VENTURES, R. **We're entering a new age... The age of "everything wireless"**. Disponível em: <<http://www.ryherdventures.com/zwave.htm>>. Acesso em: 26 de junho de 2005.

_____. **Z-wave motion detector**. Disponível em: <<http://www.ryherdventures.com/ezmotion.htm>>. Acesso em: 26 de junho de 2005.

ZIGBEE ALLIANCE. Disponível em: <<http://www.zigbee.org>>. Acesso em: 30 de setembro de 2004.

ZINS, I; PESSOA, M. S. P.; SPINA, E. **Os problemas da integração de sistemas em automação predial**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 1994, São Paulo. Anais. São Paulo: EPUSP, 27 e 28 set. 1994. p. 57-64.

Z-WAVE ALLIANCE. Disponível em: <<http://www.z-wavealliance.com>>. Acesso em: 26 de junho de 2005.