Cristiano Bigonha Tibiriçá

DETECÇÃO DE USUÁRIOS E SUAS INTERAÇÕES COM O AMBIENTE UTILIZANDO REDE DE SENSORES

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

Orientador: Prof. Dr. Luís Carlos Passarini

São Carlos
2007

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

T553d

Tibiriçá, Cristiano Bigonha
Detecção de usuários e suas interações com o ambiente utilizando rede de sensores / Cristiano Bigonha Tibiriçá ; orientador Luís Carlos Passarini. -- São Carlos, 2007.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Área de Concentração: Dinâmica das Máquinas e Sistemas) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.

1. Sistemas de controle. 2. Interação com o ambiente. 3. Identificação de atividades. 4. Redes de Sensores. 5. RFID. 6. Ambientes inteligentes. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **CRISTIANO BIGONHA TIBIRIÇÁ**

Dissertação defendida e julgada em 06/09/2007 perante a Comissão Julgadora:

APROVADO

Prof. Dr. **LUÍS CARLOS PASSARINI (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Dr. **DENNIS BRANDÃO**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Profª. Associada **MARIA DA GRAÇA CAMPOS PIMENTEL**
(Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação/USP)

Prof. Associado **JONAS DE CARVALHO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica

Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

A minha família pelo apoio e confiança que sempre demonstraram ao longo da minha vida, incentivando-me a realizar os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Luís Carlos Passarini e Mario Pinotti Jr. pela oportunidade, orientação e amizade.

Ao meu irmão pelo companheirismo, discussões construtivas e trabalho em equipe.

A todos os amigos do Laboratório de Eletrônica Embarcada pelos bons momentos de convívio e trocas de experiências.

Ao CNPq pelo financiamento da bolsa de mestrado.

Aos funcionários da biblioteca da EESC pela ajuda e dicas na formatação deste trabalho.

Aos professores dos Departamentos de Engenharia Mecânica e Engenharia Elétrica que sempre me deram honrosa atenção, as quais respeito pelo conhecimento e pela experiência profissional nas suas áreas de atuação e a quem agradeço pelas contribuições para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

TIBIRIÇÁ, C. B. (2007). **Detecção de usuários e suas interações com o ambiente utilizando rede de sensores.** 127p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.

O objetivo deste trabalho foi implementar um sistema automático com capacidade de identificar um usuário presente em um determinado ambiente e detectar suas interações com este ambiente. A identificação automática de usuários e suas interações com o ambiente torna possível diversas aplicações vislumbradas em sistemas automáticos de controle que dependem da inserção do usuário e do seu contexto com o ambiente no algoritmo de controle. O maior desafio é desenvolver um sistema que seja ubíquo ao usuário, interferindo minimamente na maneira como ele utiliza o ambiente. Para isso, propôs-se e se implementou num ambiente real um sistema baseado numa rede com sensores distribuídos de baixo custo e na tecnologia de RFID (*Radio Frequency IDentification*). As interações detectadas são do tipo: usuário trabalhando no computador, abrindo a janela, acendendo a luz, deitando na cama, exercitando-se em aparelhos de ginástica, usando controle remoto, consultando livros ou outras interações de interesse que possam ser detectadas por sensores. O sistema implementado demonstrou ser capaz de identificar os usuários e suas interações com o ambiente desde que os usuários portem pequenos *tags* RFID para identificação durante a utilização do ambiente.

Palavras-chave: Interação com o ambiente. Identificação de atividades. Redes de sensores. RFID. Ambientes inteligentes.

ABSTRACT

TIBIRIÇÁ, C. B. **Using sensor networks to detect users and their interactions with the environment.** 2007. 127p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

The purpose of this research was the implementation of an automatic system capable to identify a user presence in an environment and to detect his interactions with this environment. Automatic users identifications and their interactions with the environment makes possible several applications planned in automatic control systems that depends on the user context with the environment. The challenge is to develop a system that seems ubiquitous to the user and do not disturb the way he usually uses the environment. A system based in a cheap sensor network and in the RFID (Radio Frequency IDdentification) technology is proposed and implemented in a real environment. Typical examples of interactions detected are: user working on the computer, opening the window, turning on the lamp, laying down in the bed, exercising the body, using the remote control, catching books, using the remote control and others interactions possible to be detected with sensors. The implemented system demonstrated to be capable to identify users and their interactions with the environment since the users carry a small RFID tag for identification during the use of the environment.

Key-works: Interaction with environment. Activities identification. Sensor Networks. RFID. Smart environments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Modelo de referência OSI/ISO. 20

Figura 2.2 – Comparação entre modelo de referência OSI e TCP/IP 22

Figura 2.3 - Alguns protocolos nas diversas camadas da rede TCP/IP 22

Figura 2.4 - Técnica de transmissão por broadcast 23

Figura 2.5 – Técnica de transmissão ponto a ponto 23

Figura 2.6 – Classificação de redes de dados quanto à distância de transmissão 24

Figura 2.7 – Topologias básicas em redes de comunicação 25

Figura 2.8 – Sistema de controle centralizado e rede de campo 27

Figura 2.9 – Redes de campo distribuídas e redes de controle distribuídas 29

Figura 2.10 – Exemplos de redes de sensores comerciais e acadêmicas. 33

Figura 2.11 – Topologias usadas nas redes de sensores Pyxos 38

Figura 2.12 – Arquiteturas típicas de nós Pyxos. 39

Figura 2.13 – Integração de rede de sensores (Pyxos), rede de controle (Lonworks) e Internet. 39

Figura 2.14 –Exemplo de aplicação de HVAC com a rede SmartMesh 41

Figura 2.15 – (a) Rede totalmente interconectada (b) Central de telefone (c) Hierarquia de dois níveis conectando diversas centrais de telefone 42

Figura 2.16 – Circuito de roteamento típico para chamadas interurbanas 42

Figura 2.17 – Posição das trilhas num cartão magnético norma ISO7811 47

Figura 2.18 – Classificação dos *Smart cards* quanto ao tipo de *chip* utilizado e o método de transmissão 48

Figura 2.19 – (a) *Smart card* cartão de memória; (b) *Smart card* com processador 49

Figura 2.20 – *Smart card* com interface de rádio freqüência 49

Figura 2.21 – Campos de dados do padrão EAN e imagem de um código de barras 50

Figura 2.22 – Etapas num processo de identificação biométrica 51

Figura 2.23 - Componentes básicos de um sistema de RFID 53

Figura 2.24 –. Alimentação de um *transponder* de acoplamento indutivo pelo campo magnético alternado gerado pela leitora 54

Figura 2.25 – Estimativa de preço e vendas de *tags* nos próximos anos 55

Figura 2.26 – (a) *Tag* ativo; (b) *Tag* utilizado em ferramenta de CNC; (c) *Tag* de baixo custo em uma agulha; (d) *Tag* de vidro utilizado em animais; (e) Detalhes internos do mesmo *tag;* (f) *Tag* utilizado como chave em sistema de acesso; (g) *Tag* integrado ao relógio utilizado para abrir porta 56

Figura 2.27 – Medição de torque em eixo rotativo utilizando *tag* com sensor 59

Figura 2.28 – Segmentos do sistema GPS: espacial, controle terrestre, usuário 64

Figura 2.29 – Localização pelo método de proximidade com *tags* móveis. 73

Figura 2.30 – Localização de *tags* pelo método de proximidade com *tags* fixos. 74

Figura 2.31 – Luva com leitora de RFID utilizada para identificação de posição 75

Figura 2.32 – Sistema de rastreamento de pessoas por câmeras do EASYLIVING 77

Figura 2.33 – Pequena câmera portátil utilizada para sistema de localização automático 78

Figura 4.1 – Arquitetura do sistema de detecção de interações e de usuários. 92

Figura 4.2 – *Tag* utilizado nos experimentos (tamanho natural). 98

Figura 4.3 – Leitora de *tags* utilizada no experimento. 98

Figura 4.4 –. Planta do cômodo de testes com posição dos sensores. 101

Figura 4.5 – Elementos de um *reed switch* 103

Figura 4.6 - *Reed switches* em cápsulas de vidro 103

Figura 4.7 – Sensor digital utilizado para medir força/pressão. 104

Figura 4.8 – Sensor de movimento infravermelho 105

Figura 4.9 – Receptor infravermelho para controle remoto 105

Figura 4.10 – Sensor de temperatura e umidade 106

Figura 4.11 – Sensor de luminosidade. 107

Figura 5.1 – Exemplo de um resultado de 24 horas de registro de dados do sistema. 110

Figura 5.2 – Vista detalhada da Figura 5.1 entre 10h e 10h20min. 111

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 –Grupos de pesquisa em computação ubíqua. 16

Quadro 2.2 – Características de protocolos principais para LAN e PAN. 26

Quadro 2.3 – Alguns padrões de redes de campo em seus nichos de mercado..... 30

Quadro 2.4 – Evolução das redes de sensores..... 32

Quadro 2.5 – Características padrões das trilhas num cartão magnético norma ISO 7811 47

Quadro 2.6 – Comparação qualitativa entre várias tecnologias biométricas 52

Quadro 2.7 – Faixas de freqüências adotadas mundialmente para aplicações RFID, suas características e aplicações..... 57

Quadro 2.8 – Características de sistemas de identificação automáticos. 60

Quadro 2.9 – Tecnologias utilizadas para localização de pessoas e objetos 63

Quadro 2.10 – Comparação entre os sistemas GPS e GLONASS..... 67

Quadro 3.1 – Sensores utilizados para detectar propriedades de interação em ambientes..... 87

Quadro 4.1– Características da rede utilizada para sensoriamento..... 93

Quadro 4.2 – Propriedades observadas no ambiente experimental e os sensores utilizados para detectar mudanças de estado das propriedades. 100

Quadro 5.1 – Eventos observados visualmente durante o período de testes mostrados na Fig. 5.2 . 112

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação de potenciais fontes de energia para redes de sensores 36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3G	Terceira Geração
4G	Quarta Geração
ADL	Activities of Daily Living
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BAN	Body Area Network
BCD	Binary-coded decimal
BPI	Bits per Inch
CLK	Clock
CLP	Controlador Lógico Programável
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CPU	Central Processor Unit
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
DNA	DeoxyriboNucleic Acid
E/S	Entrada/Saída
EAN	European Article Number
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
FRAM	Ferro-magnetic Random-Access Memory
FTP	File Transfer Protocol
GND	Ground
GPS	Global Positioning System

GSM	Global System for Mobile Communications
GUID	Globally Unique Identifier
HTTP	HyperText Transfer Protocol
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditioning
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
I/O	Input/Output
ID	IDdentification
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Organization for Standardization
ISP	Internet Service Provider
LAN	Local Area Network
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
NPU	Numeric Processor Unit
OSI	Open Systems Interconnection
PAN	Personal Area Network
PC	Personal Computer
PCB	Printed Circuit Board
PDA	Personal Digital Assistant
QoS	Quality of Service
RAM	Random Access Memory
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency IDdentification
ROM	Read Only Memory

RST	Reset
SMS	Short message service
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SNR	Sinal Noise Relation
SOSUS	Sound Surveillance System
SPI	Serial Peripheral Interface
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TELNET	Teletype Network
U1	Usuário com *tag* 1
U2	Usuário com *tag* 2
UHF	Ultra High Frequency
US$	United States Dollar
VAC	Volts Alternating Current
VDC	Volts of Direct Current
WAN	Wide Area Network

LISTA DE SÍMBOLOS

^{o}	ângulo plano, em grau
cm	centímetro
cm^3	centímetro cúbico
dBm	decibel, em referência a 1 miliwatt
GHz	Gigahertz
J	Joule
kbit	kilobit
kbps	kilobit por segundo
lux	iluminância
m	metro
Mbps	Megabits por segundo
MHz	Megahertz
mm	milímetro
ms	milisegundo
mW	miliwatt
^{o}C	graus Celsius
Oe	Oersted
s	segundos
µW	microwatt
W	Watt

SUMÁRIO

RESUMO ..... **VI**

ABSTRACT ..... **VII**

LISTA DE FIGURAS ..... **VIII**

LISTA DE QUADROS ..... **X**

LISTA DE TABELAS ..... **XI**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS ..... **XII**

LISTA DE SÍMBOLOS ..... **XV**

SUMÁRIO ..... **XVI**

1. INTRODUÇÃO **1**

1.1. OBJETIVOS 5

1.2. MÉTODOS 5

1.3. DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS 6

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **9**

2.1. COMPUTAÇÃO UBÍQUA 9

2.1.1. Grupos de pesquisa em computação ubíqua 11

2.2. REDES DE COMUNICAÇÃO 17

2.2.1. Redes de Computadores 18

2.2.2. Redes de Campo 26

2.2.3. Redes de Sensores 31

2.2.4. Redes de telefonia 41

2.3. SISTEMAS DE IDENTIFICAÇÃO DE PESSOAS E OBJETOS 45

2.3.1. Senha/teclado 45

2.3.2. Identificação por cartões 46
2.3.3. Identificação por sistemas Óticos 50
2.3.4. Identificação Biométrica 51
2.3.5. Rfid (*Radio Frequency Identification*) 53
2.3.6. Quadro comparativo de sistemas de identificação 60
2.4. SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE PESSOAS E OBJETOS 61
2.4.1. Sistemas por satélites 64
2.4.2. Sistemas por infravermelho 69
2.4.3. Sistemas por ultra-som 69
2.4.4. Sistemas por campo magnético 70
2.4.5. Sistemas por RF (radio frequência) 71
2.4.6. Sistemas de visão computacional 75
2.4.7. Sensores de pressão no chão 78
2.4.8. Fusão de sistemas 79

3. DETECÇÃO DA INTERAÇÃO USUÁRIO/AMBIENTE 81

3.1. INTERAÇÕES NO AMBIENTE 81
3.2. TRABALHOS NA ÁREA DE DETECÇÃO DE INTERAÇOES USUÁRIO/ AMBIENTE 82
3.3. IDENTIFICAÇÃO DO AGENTE CAUSADOR DA INTERAÇÃO 85
3.4. SENSORES 87

4. SISTEMA PROPOSTO 89

4.1. MÉTODOS UTILIZADOS 89
4.1.1. Hipóteses limitantes 90
4.2. ARQUITETURA DO SISTEMA 91
4.3. A REDE DE SENSORES 93
4.4. *SOFTWARE* 96
4.5. MÓDULOS DE RFID PARA IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO 97
4.6. O AMBIENTE DE TESTES 99
4.7. SENSORES UTILIZADOS 102
4.7.1. *Reed Switch* 102

4.7.2. Sensor de pressão/força 103

4.7.3. Bobina indutiva 104

4.7.4. Sensor de movimento infravermelho 104

4.7.5. Receptor do controle remoto infravermelho 105

4.7.6. Temperatura e Umidade 106

4.7.7. Luminosidade 106

4.8. PROCEDIMENTO DE TESTES 107

4.9. DIFICULDADES OBSERVADAS AO LONGO DO TRABALHO 107

5. RESULTADOS 109

5.1. RESULTADOS OBTIDOS 109

5.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS 113

6. CONCLUSÕES 117

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 121

1. INTRODUÇÃO

A cada ano novas tecnologias desenvolvidas para auxiliar a vida das pessoas são incorporadas aos ambientes que elas utilizam. Em casas, escritórios, *shoppings*, ruas das cidades, rodovias e nos mais diversos tipos de ambientes novas tecnologias estão sendo incorporadas. Desses ambientes, os que apresentam a maior concentração de tecnologias são as edificações, local nas sociedades modernas onde as pessoas passam 80% de suas vidas (KOLOKOTSA et al., 2001).

Numa casa de classe média atual é possível constatar como várias gerações de tecnologias que auxiliam no dia-a-dia dos seus moradores estão incorporadas. Fogão a gás, lâmpadas elétricas, ferro de passar roupas, chuveiro de água quente, escova de dentes elétrica, barbeador elétrico, secador de cabelo, geladeira, forno de microondas, relógios/despertadores digitais, televisão, aparelho DVD, aparelhos de som, ar-condicionado, aquecedores de ar, aspirador de pó, máquina de lavar roupa, máquina de secar roupa, máquina de lavar louças, sistema de segurança, telefone, computador, impressora, *scanner*, conexão à *Internet*, todos esses elementos são encontrados normalmente nessas casas. Além dessas tecnologias fixas aos ambientes, várias outras tecnologias feitas para serem transportadas entre os ambientes, são amplamente utilizadas: telefone celular, *notebook*, *mp3-player*, câmera digital, etc.

A introdução dessas tecnologias tem os objetivos de: tornar as várias tarefas do dia-a-dia mais fáceis e ágeis, eliminar a necessidade das pessoas na execução de tarefas indesejadas (lavar louça, por exemplo), aumentar o conforto das pessoas no uso dos ambientes, possibilitar formas de lazer alternativas nesses ambientes, reduzir gastos de energia diminuindo pressões sobre o meio ambiente, aumentar a se-

gurança das pessoas, quebrar barreiras de tempo/espaço (telepresença), auxiliar no cuidado da saúde das pessoas e em alguns casos aumentar o prestígio pessoal (FRIEDEWALD et al., 2004).

Os ambientes estão ficando tão ricos em tecnologias que a complexidade na administração e no uso delas está aumentando proporcionalmente. Quantas vezes já ocorreu a situação em que alguém, visitando um parente (avós, pais, irmãos), foi incumbido da simples tarefa de ligar a televisão da sala e acabou tendo que efetuar uma verdadeira análise de marcas e modelos para descobrir qual dos vários controles remotos sobre a mesa liga a televisão? Da mesma forma, muitos são os exemplos em que sistemas de automação sofisticados e caros foram instalados em casas e poucos meses depois foram desativados (MOZER, 2005). Esses sistemas, ao permitirem o controle e configuração de uma enorme quantidade de variáveis, acabam por se tornar demasiadamente complexos de se operar. Nesses exemplos, simples funções antes realizadas com facilidade passaram a necessitar de muito mais esforço.

Situações como essas, onde o excesso de tecnologia começa a atrapalhar a vida das pessoas, trouxeram a necessidade de redefinir a forma de como incorporar as tecnologias na vida diária. Nesse sentido, já no início da década de 90, Mark Weiser apresentou o conceito de computação ubíqua (WEISER, 1991). Nesse conceito, as tecnologias devem interagir de forma transparente com as pessoas, sem sobrecarregar seus sentidos de informação, permitindo uma interação calma (WEISER; BROWN, 1996). As interfaces devem ser simplificadas e amigáveis de forma que as pessoas sempre se sintam à vontade e no controle da situação. As tecnologias, agora presentes em toda parte, devem ficar escondidas, “por de trás das cortinas”, ma-

nifestando-se somente nas interfaces predefinidas pelos usuários do ambiente e nos momentos desejados.

Recentes avanços tecnológicos vêm dar suporte à implementação de aplicações com requisitos ubíquos. Entre eles pode-se citar a microeletrônica que permite que computadores ou unidades de processamento alcancem escalas milimétricas, tornando possível a “invisibilidade” sugerida na computação ubíqua. Outra importante tecnologia em sistemas ubíquos são as redes de comunicação, que permitem que informações sejam compartilhadas entre microprocessadores e, assim, dados oriundos dos mais diversos sistemas (sensores dispersos no ambiente, sistemas de controle, aplicativos de gerenciamento, etc.) sejam integrados numa mesma aplicação. Na última década, o amadurecimento da tecnologia de RFID vem auxiliar na implementação de novas aplicações com requisitos ubíquos. Sistemas de RFID permitem identificar objetos e pessoas automaticamente a distância sem a necessidade de contato físico ou mesmo visual (ROBERTS, 2006). Seu funcionamento ocorre através da utilização de um pequeno circuito integrado (*tag*), que emite sinais de rádio para identificação. Uma leitora interpreta esses sinais, podendo identificar *tags* até a dezenas de metros de distância. Os *tags* já são tão pequenos que podem até mesmo ser implantados sob a pele.

Nesse contexto de ambientes ricos em tecnologia e da computação ubíqua, novas aplicações que auxiliam no dia-a-dia das pessoas estão sendo desenvolvidas. Vários são os exemplos de aplicações tecnológicas com requisitos ubíquos. Sistemas de controle de iluminação que minimizem o gasto de energia, aproveitando a iluminação natural disponível e que liguem e desliguem automaticamente as luzes na presença ou ausência de pessoas no ambiente é um exemplo (TIBIRIÇÁ, 2004). Em (COOK, DAS, 2005) é descrito uma casa inteligente chamada MAVHOME que

percebe o estado da casa através de sensores. Nela, agentes inteligentes de *software* controlam o ambiente para garantir o conforto dos habitantes e minimizar os custos operacionais do ambiente.

Uma das aplicações mais interessantes sendo pesquisadas é o de reconhecimento de atividades de pessoas. O objetivo dessas pesquisas é desenvolver sistemas que consigam obter informações do ambiente por meio de câmeras de vídeo e sensores instalados no ambiente, utilizando esses dados para reconhecer o que as pessoas estão fazendo (PHILIPOSE et al., 2004; TAPIA, 2003; RONDONI, 2003; PRIMA, 2001; MOBILE, 1999). Tais sistemas podem ser utilizados, entre diversas outras aplicações, para auxiliar as pessoas a executar suas atividades cotidianas do dia-a-dia, gerar diários automáticos de atividades de pessoas em determinados ambientes e perceber comportamentos estranhos que indiquem problemas de saúde.

Vários são os desafios para se implementar um sistema automático de reconhecimento de atividades (PHILIPOSE et al., 2004). Primeiro: como as atividades podem ser realizadas de diversas maneiras, o *software* de reconhecimento deve se adaptar a essas variações. Segundo: os sensores utilizados devem reportar as características exigidas de forma robusta, nos mais diversos contextos de uso do ambiente (variações de luminosidade, níveis sonoros, mudança de posições de pessoas e objetos). Terceiro: com a ocorrência de um número muito grande de atividades, cada uma com milhares de variações, a hierarquização delas deve ser realizada por um sistema da forma mais ubíqua possível, com mínima intervenção humana.

Uma das formas de reconhecer atividades é através da análise das interações que ocorrem no ambiente. (PHILIPOSE et al., 2004) e (TAPIA, 2003) utilizam a informação de interação para implementar algoritmos de reconhecimento de atividades.

É importante ressaltar que detectar interações do usuário com o ambiente é diferente de reconhecer as atividades do usuário. Por exemplo, ligar a televisão é uma interação do usuário com o ambiente, mas esta interação não implica que a atividade que o usuário está exercendo é assistir televisão.

Independentemente de ser utilizada para reconhecimento de atividades ou não, a detecção de interações de pessoas em ambientes é, por si só, uma fonte de informação muito rica em descrever eventos ocorridos nos ambientes. Diversas outras aplicações, onde não é necessário fazer classificações complexas de reconhecimento de atividades, podem se beneficiar dessas informações.

1.1. OBJETIVOS

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivos:

1 - especificar, implementar e testar um sistema ubíquo, que consiga automaticamente identificar um usuário presente em um ambiente e detectar suas interações com este ambiente.

2 - realizar uma ampla revisão de trabalhos que suportem o objetivo 1, auxiliem na identificação de aplicações para este sistema e determinem o estado da arte dos temas relacionados ao trabalho.

1.2. MÉTODOS

O método utilizado para detecção das interações usuário/ambiente é o da correlação da posição dos usuários com a posição dos sensores que detectaram intera-

ções no ambiente. Assim, três funções básicas são executadas pelo sistema: identificar usuários, localizar os usuários e detectar mudanças de estado em propriedades do ambiente indicadoras de interações de usuários. Os usuários do ambiente devem portar *tags* RFID para serem identificados e localizados. Uma rede de sensores distribuídos, com vários sensores simples, monitora as propriedades do ambiente que indiquem interações (por exemplo, abertura de portas, janelas, registros de água, ligamento de luz, de aparelho de som ou de computador). Esse conjunto de informações, adquiridas automaticamente através da infra-estrutura de uma rede de sensores, é utilizado para identificar os usuários e detectar suas interações com o ambiente.

1.3. DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

No capítulo 2 (Revisão Bibliográfica) são revisados os principais temas que dão suporte a este trabalho. Primeiramente é apresentado o conceito de computação ubíqua, as tecnologias que estão permitindo criar novas aplicações com requisitos ubíquos e alguns trabalhos realizados por proeminentes grupos de pesquisa no contexto da computação ubíqua. A seguir as redes de comunicação são introduzidas, classificadas por aplicação e suas características descritas. Na seqüência são apresentadas tecnologias para identificação de pessoas e objetos, tais como código de barras, cartões magnéticos, *smart cards*, sistemas RFID, seguidas de um quadro comparativo dessas tecnologias. Na última parte deste capítulo são apresentadas técnicas e tecnologias utilizadas para determinar a posição de pessoas ou objetos de forma automática.

O capítulo 3 (Detecção da Interação Usuário/Ambiente) define o que é interação do usuário com o ambiente, apresenta etapas no processo de detecção das interações e os métodos que permitem detectar os agentes que causam a interação.

No capítulo 4 (Sistema Proposto) é apresentado em detalhes o método utilizado para identificar usuários e detectar suas interações com o ambiente. Também é descrito os componentes do sistema implementado (a rede de sensores, *software* e sistema RFID), o ambiente de testes e os procedimentos utilizados no experimento.

No capítulo 5 (Resultados) são apresentados os resultados dos testes realizados seguidos de sua análise.

O capítulo 6 (Conclusões) apresenta as conclusões do trabalho, um conjunto de aplicações para o sistema proposto e são sugeridos futuros temas que poderão dar continuidade a este trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo os principais temas referentes ao problema proposto são revisados. Inicialmente a computação ubíqua é apresentada, mostrando que uma nova era de informação está sendo iniciada, onde microprocessadores estarão presentes em todos os contextos de nossa vida cotidiana. Em seguida, as redes de comunicação são introduzidas e seu potencial no sensoriamento de atividades humanas é demonstrado. As diversas tecnologias envolvidas em detecção da presença de pessoas e na sua identificação são expostas, sendo seguidas das técnicas de localização de posição de pessoas.

2.1. COMPUTAÇÃO UBÍQUA

O termo computação ubíqua foi popularizado pelo pesquisador Mark Weiser do PARC (Palo Alto Research Center) da Xerox no início dos anos 90. (WEISER; BROWN, 1996) vislumbravam que uma nova era da computação se iniciava. A primeira foi a Era dos *Mainframes*, na qual um grande computador era utilizado por várias pessoas, e durou até a década de 70. A segunda Era, iniciada nos anos 80 e presente até hoje é a era dos PCs (*Personal Computers*), onde cada pessoa utiliza o seu computador. A terceira Era, a da computação ubíqua, começando a se iniciar, será aquela em que existirão dezenas a centenas de computadores para cada pessoa. Nesta fase, as pessoas estarão rodeadas de objetos com capacidade de microprocessamento e interligados por redes de comunicação. Interruptores de lâmpadas, portas de armários, eletrodomésticos, carros, telefones celulares, roupas, compras de mercado, tudo poderá estar conectado em rede, fornecendo informa-

ções nunca antes disponíveis e permitindo o surgimento de diversas novas aplicações. (WEISER, 1993) define o termo computação ubíqua como:

> *"Ubiquitous computing is the method of enhancing computer use by making many computers available throughout the physical environment, but making them effectively invisible to the user".* (Computação ubíqua é o método de intensificar o uso de computadores tornando-os altamente disponíveis no ambiente físico e fazendo-os efetivamente invisíveis ao usuário).

Segundo (LAROUSSE, 2004), ubíquo significa o que está ao mesmo tempo em toda à parte, onipresente. Estas duas características, quantidade e invisibilidade é que definem a computação ubíqua. Não basta ter cada centímetro quadrado da terra sensoriado se isso não ocorrer de modo transparente, sem sobrecarregar de informação os sentidos humanos. (WEISER, 1991) cita que as tecnologias mais profundas são aquelas que desaparecem. Elas se incorporam aos objetos comuns do dia-a-dia até se tornarem indistinguíveis deles.

Várias são as tecnologias que estão permitindo essa transição para a Era da computação ubíqua. Os avanços da microeletrônica permitem cada vez maior capacidade de processamento num menor espaço e com menor consumo de energia. O desenvolvimento das técnicas de fabricação de micro-sensores e micro-atuadores, elementos conhecidos como MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*), permite agora a integração de processamento, sensoriamento e atuação num único dispositivo milimétrico. Sistemas de armazenamento de energia mais eficientes (baterias), melhoramentos na área de comunicação (devido a protocolos mais especializados) e a utilização de novos meios físicos de forma confiável (tal como rádio freqüência e rede elétrica) também se destacam nessa transição.

Devido à interdisciplinaridade envolvida na computação ubíqua, definir o estado da arte de hoje envolve temas que passam pela área de engenharia elétrica (siste-

mas de comunicação, *hardware*), computação (protocolos, aplicativos), mecânica (sensores, atuadores, métodos de fabricação), medicina (sistemas automáticos de auxílio à saúde, implantes eletrônicos), psicologia (resposta humana a situações cotidianas, previsão automática de comportamento humano) e até mesmo pelo sistema legal (discussão sobre privacidade e centralização de informação). Essa união de características demonstra que a Era da computação ubíqua se caracteriza também por iniciar a integração de informação das diversas áreas de conhecimento humano, através da infra-estrutura das redes de comunicação. Essa integração permite que o acesso a sistemas especialistas, desenvolvidos em cada área do conhecimento, esteja disponível de forma ubíqua e que seus recursos sejam compartilhados.

2.1.1. GRUPOS DE PESQUISA EM COMPUTAÇÃO UBÍQUA

Grupos de pesquisa em computação ubíqua, principalmente nos Estados Unidos, Europa e Japão, estão trabalhando no desenvolvimento da infra-estrutura, integração de tecnologias e em novas aplicações que irão tornar a computação ubíqua realidade.

Existem termos bastante utilizados na descrição dos trabalhos dos grupos que se inter-relacionam com a computação ubíqua. *Pervasive computer* é um termo muito utilizado para descrever a nova tendência de ambientes ricos em elementos computacionais e com capacidade de comunicação (SATYANARAYANAN, 2001). *Context aware,* ou a par do contexto, é utilizado em aplicações que se dedicam a analisar o contexto de uma situação para reconhecer atividades exercidas pelas pessoas ou implementar sistemas preditivos, reativos, proativos e perceptivos. *Activities of Daily*

Living (ADL) é utilizado em situações onde o objetivo é estudar as atividades normais do dia-a-dia de pessoas e é muito citado em aplicações com finalidade de desenvolver sistemas automáticos de auxílio à saúde (PHILIPOSE et al., 2004).

No projeto House_n do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), algumas tecnologias em computação ubíqua estão sendo testadas (HOUSE_N, 1999). Uma casa chamada Placelab (INTILLE, 2005) foi construída para servir de ambiente de testes de novas tecnologias, tal como os MITes (TAPIA et al., 2004), que são um conjunto de pequenos sensores sem fio, que podem ser presos a qualquer objeto ou pessoa, permitindo capturar informação de aceleração para determinar sua movimentação. Este sistema também foi adaptado para detectar se aparelhos elétricos estão ligados ou não, monitorar taxa de batimento cardíaco, localizar pessoas e determinar proximidade delas com objetos (LOPEZ, 2005). O PlaceLab foi otimizado para estudo e observação de pessoas que vivem sozinhas, baseado no fato de que em 2003, 26% das casas americanas eram ocupadas por um único morador (INTILLE, 2005). Centenas de sensores, câmeras e microfones capturam informações dos usuários do PlaceLab permitindo processamento em tempo real ou armazenagem para análise posterior. Reconhecimento de atividades humanas utilizando conjunto de sensores simples (TAPIA, 2003), integração de ambientes com dispositivos portáteis (KAUSHIK, 2005; NAWYN, 2005), tecnologias para auxílio ao envelhecimento nas casas (INTILLE; LARSON; TAPIA, 2003) são algumas das pesquisas desenvolvidas no House_n.

Na França, o projeto PRIMA (Perception, recognition and integration for interactive enviroments) desenvolve tecnologias para percepção, reconhecimento de ações humanas em ambientes inteligentes e interações homem-máquina. Suas tecnologias são baseadas principalmente em visão computacional. Foram desenvolvidas a-

plicações para reconhecimento de objetos, determinação de posição, rastreamento de mão e face, reconhecimento de atividades, gestos e de estados emocionais. Utilizam também processamento de voz para reconhecer atividades. Para testar suas pesquisas, construíram um espaço interativo chamado FAME (METZE et al., 2005).

(PENTLAND, 2005) cita trabalhos de seus grupos de pesquisa no MIT. Seu foco ocorre em aplicações para ambientes e roupas inteligentes. Em ambientes inteligentes ele trabalha com a idéia de que o ambiente deve se comportar como um observador passivo procurando por oportunidades para poder ajudar os usuários. Em roupas inteligentes a idéia é que situações tentem ser antecipadas e um algoritmo proativo seja utilizado para auxiliar situações que estão por vir. A instrumentação utilizada para criar esses sistemas é baseada principalmente na utilização de câmeras e microfones. Alguns dos trabalhos desenvolvidos para ambientes inteligentes foram: um sistema de rastreamento de pessoas usando um modelo dinâmico 3D, reconhecimento de face, de expressão e de voz, um sistema capaz de detectar a intenção de ultrapassar, estacionar, virar ou mudar de pista de um motorista dirigindo um carro. (SCHWARTZ; PENTLAND, 1999) criaram a "*Smart Vest*" como plataforma para desenvolvimento de aplicações em roupas inteligentes. O *Smart Vest* é uma roupa leve que possui processador, memória e barramento de rede que permite a conexão de novos módulos na roupa. Óculos com câmera e monitor embutidos, fones de ouvidos e microfones na blusa, permitem criar diversas aplicações através do processamento de imagem e som em um computador portátil. Previsões de comportamentos diários (CLARKSON; PENTLAND, 2001), um sistema de auxílio ao jogo de sinuca, reconhecedor de faces e gestos corporais também são algumas aplicações demonstradas (PENTLAND, 2005).

O grupo de pesquisa de computação móvel e pervasiva da Universidade da Flórida desenvolveu uma plataforma de sensores para ser utilizada em ambientes pervasivos que atingisse requisitos de escalabilidade, simples instalação (*plug and play)*, flexibilidade e fácil manutenção (ZABADANI; HELAL; YANG, 2007). Entre outros projetos desenvolvidos estão os Espaços Pervasivos Programáveis. Os objetivos são desenvolver e implementar uma arquitetura de referência (incluindo implementação em *middleware*) para ambientes pervasivos futuros. Sistemas de localização para ambientes pervasivos utilizando sensores ultra-sônicos e sensores no chão também foram pesquisados. Um dos focos de aplicação de tecnologias deste grupo é o de pesquisas de tecnologias para auxílio a pessoas idosas em suas casas. Construiram a *Matilda's Smart House* com o propósito de criar um ambiente que auxilie a vida de idosos. As características desse ambiente são: monitorar a saúde dos idosos coletando dados fisiológicos (pressão sangüínea, temperatura e nível de glicose) e indicando mudanças repentinas desses parâmetros; monitorar atividades, movimento e comportamentos das pessoas na casa indicando se alguém caiu, se bebeu a quantidade de líquidos necessários, se alimentou, se tossiu com muita freqüência, se movimentou demasiadamente durante o sono e a partir disso gerar alertas de ajuda. A casa é amplamente monitorada, tem vários eletrodomésticos controlados automaticamente**,** sistema de segurança, controle de temperatura, indicação de encomenda nova no correio e controle de iluminação. Um robô (Matilda) simula o movimento de um idoso pela casa para testar os sistemas de localização.

No Quadro 2.1 é mostrado um resumo dos principais grupos de pesquisa no mundo e suas áreas correlatas à computação ubíqua.

Grupos	Áreas de pesquisa
MavHome University of Texas Arlington	MavHome Smart Home é um projeto de pesquisa multidisciplinar focado na criação de um ambiente residencial inteligente. Sua abordagem considera as "*smart homes*" como um agente inteligente que percebe seu ambiente através de uso de sensores e pode atuar nele através do uso de atuadores. A casa tem certos objetivos, tais como minimizar o custo de manutenção e maximizar o conforto dos habitantes. Para alcançar estes objetivos a *smart home* necessita ser capaz de concluir e adaptar a partir das informações providas (MAVHOME, 2003).
Microsoft Easyliving	O projeto EasyLiving aborda o desenvolvimento de uma arquitetura e tecnologias para ambientes inteligentes agregando dinamicamente diversos dispositivos de I/O (Input/Output) numa única experiência de usuários. Os componentes deste sistema incluem *middleware* (para facilitar a computação distribuída), modelagem do ambiente (para prover contexto baseado em localização), percepção (para coletar informação de estado do ambiente) e descrição de serviços (para dar suporte a lógicas de controle e interface de usuário) (BRUMITT et al., 2000).
iRoom Stanford Interactive Workspaces	O iRoom (*interactive workspace*) explora novas possibilidades para pessoas que trabalham em grupo em espaços ricos em tecnologia. O projeto foca em melhorar as oportunidades de interação de um espaço de encontro dedicado, através da utilização de grandes *displays*, dispositivos sem fio ou multimodais e aplicações ubíquas de aparelhos móveis (IROOM, 1999).
AHRI - Aware Home Research Initiative Georgia Tech	AHRI é uma pesquisa interdisciplinar que aborda os desafios enfrentados para futuras tecnologias domésticas. Um recurso crítico e único nesta iniciativa é o Geórgia Tech Broadband Institute Residencial Laboratory, uma casa de três pavimentos com 5040 pés quadrados que funciona como laboratório vivo para projetos interdisciplinares. As aplicações desenvolvidas são: reconhecimento de atividades, serviço de localização interno, rastreamento multi-câmera de olhos /cabeça, fusão de sensores de som e vídeo, identificação por microfone em campo aberto, *displays* de alta escala, assistentes domésticos, auxiliar de memória cotidiano. (AHRI, 2000)
Mobile & Pervasive computing group Universidade da. Florida	O objetivo do projeto de espaços pervasivos programáveis é projetar e implementar uma arquitetura de referência viável e implementar um *middleware* correspondente para ambientes pervasivos computacionais que seja aberto, extensível, adaptativo, auto-configurável e auto-integrável. Uma casa chamada Matilda's Smart House foi construída para testar as tecnologias desenvolvidas e também estudar tecnologias para auxílio a idosos (MOBILE, 1999).
House_n PlaceLab MIT	A missão do projeto House_n é conduzir pesquisas através de projeto e construção de ambientes reais vivos (laboratórios vivos) que são usados para desenvolver estratégias de projeto e tecnologias de contexto. O PlaceLab é um condomínio residencial em Cambridge, Massachusetts, projetado para ser um instrumento de pesquisa altamente flexível e multidisciplinar para o estudo científico de pessoas e seus padrões de interação com novas tecnologias e ambientes domiciliares. Centenas de sensores são usados para desenvolver aplicações de interfaces de usuários inovadoras que ajudam as pessoas a controlar seus ambientes mais facilmente, economizar recursos, manter a atividade física e mental e ficar saudável. Os sensores também são utilizados para monitorar atividades no ambiente para que pesquisadores possam estudar como as pessoas reagem a novos dispositivos, sistemas e estratégias de projetos de arquiteturas num complexo contexto das casas (HOUSE_N, 1999).
Oxygen – Pervasive Human Centered Computing MIT	Oxygen possibilita a computação pervasiva e humano-centrada através da combinação de tecnologias de sistema e de usuários. Tecnologias de usuários focam diretamente as necessidades dos humanos. Tecnologias de voz e visão possibilitam os usuários comunicar com o Oxygen como se eles estivessem interagindo com outra pessoa, economizando tempo e esforço. Dispositivos computacionais chamados E21s, embarcados nas casas, escritórios e carros sensoriam e atuam no ambiente em volta. Dispositivos de mão, chamados H21, aumentam o poder de comunicação independentemente do lugar. Redes dinâmicas e auto-configuráveis (H21) ajudam os dispositivos a localizarem uns aos outros, como também pessoas, serviços e recursos que se desejam. O *software* (O2S) adapta-se às mudanças no ambiente ou dos requisitos dos usuários ajudando a fazer o que se quer e quando se quer (OXYGEN, 2004).
AIRE- Agent-based Intelligent Reactive Environments MIT	O grupo AIRE é dedicado a estudar como projetar sistemas computacionais pervasivos e aplicações em pessoas. Para isto, o AIRE projeta e constrói ambientes inteligentes, que são espaços melhorados, com sensoriamento perceptivo básico, reconhecimento de voz, e lógicas de agentes distribuídos. Ambientes inteligentes têm englobado um grande espectro de formas e tamanhos, de um computador de bolso até redes de salas de conferência. Cada um serve como plataformas individuais, ou *airespaces* no qual aplicações de computação pervasiva podem trabalhar em camadas. Exemplos de aplicações do AIRE em desenvolvimento incluem um gerenciador de reuniões, recuperador de informações de contexto e linguagem natural, sistema interpretador de rascunhos. O AIRE forma um componente central do grupo Oxygen do Mit (AIRE, 2003).

Quadro 2.1 – Grupos de pesquisa em computação ubíqua (continua).

Grupos	Áreas de pesquisa
Intel Research University of Washington	A Intel mediante de consórcios com o meio acadêmico, vem desenvolvendo projetos em várias áreas da computação ubíqua. Pesquisa redes de sensores heterogêneos (desenvolvendo a rede de sensores sem fio chamada Mote), sistemas de localização, detecção de atividades humanas, visão computacional, sistema proativo de saúde entre outros (INTEL, 2007).
PRIMA França	O projeto PRIMA aborda tecnologias para percepção e reconhecimento de ações humanas em ambientes inteligentes e interações homem-máquina. Estes projetos são baseados em métodos de aparência local utilizando sistemas de imagem e som (PRIMA, 2001).
Ambiente Roomware Alemanha	A missão do projeto AMBIENTE é desenvolver ambientes de trabalho e de colaboração que respondam a demandas dos novos trabalhos. Estes ambientes irão combinar informações de objetos do mundo real acopladas com mundo virtual resultando em objetos inteligentes. As interfaces variam de pequenos a grandes monitores, criando ambientes arquiteturalmente compreensivos e cooperativos (ROOMWARE, 2003).
Embedded Interaction Group Alemanha	O maior interesse do grupo de Interação Embarcada é desenvolver conceitos, métodos e ferramentas para avançar a interação embarcada homem-computador. Como embarcar a interação homem computador é visto de duas maneiras. Na primeira, é visto como a tecnologia de interação, tal como sensores e atuadores podem ser embarcadas em dispositivos, ferramentas de objetos cotidianos. Na segunda deseja-se mostrar como a interação com informação pode ser introduzida nas tarefas realizadas pelas pessoas (EMBEDDED, 2004).
Intelligent Space Project HashimotoLab Japão	O tópico de pesquisa primário deste grupo é o de redes de robôs, o qual é fundado nas tecnologias de telecomunicações e de robótica. Os trabalhos nas áreas de Espaços Inteligentes são fusões de espaços físicos, robôs e sistemas de telemicromanipulação baseados no uso de interfaces hapticas (com realimentação de força). A Sala Intelligent Space é um local no qual múltiplos sensores são embarcados. As informações dos sensores são usadas por computadores e robôs conectados através de uma rede de comunicação, com o propósito de prover vários serviços para as pessoas. (INTELLIGENTSPACE, 2001).

Quadro 2.1 –Grupos de pesquisa em computação ubíqua.

2.2. REDES DE COMUNICAÇÃO

As redes de comunicação têm cada vez mais um papel primordial na vida das pessoas. A *internet* que se acessa em casa, o telefone que se usa na rua, o caixa eletrônico para consultar a conta corrente, controladores de processos industriais, todos utilizam um tipo específico de rede de comunicação otimizada para a sua aplicação. Após anos de desenvolvimento nas mais diversas técnicas e protocolos de comunicação pode-se dividir as redes de comunicação, de acordo com a aplicação utilizada, nos seguintes principais grupos:

- Redes de computadores ou rede de dados;
- Redes de campo;
- Redes de telefonia

As redes de computadores têm como função a interligação entre computadores e também computadores com seus periféricos, visando principalmente à transferência de arquivos e aplicações *online* (vídeo*, voip, chat, web*). As redes de campo interligam controladores, sensores, atuadores e supervisores para fazer controle de processos industriais, de processos embarcados (em carros, navios, trens), processos em automação predial/residencial e monitoramento de variáveis ambientais. Um tipo especial de redes de campo são as redes de sensores, otimizadas para captura de informação de centenas a milhares de sensores distribuídos ao longo de um ambiente. As redes de telefonia têm por função básica interligar aparelhos telefônicos para transmissão de voz.

A idéia pensada por muitos de que um único tipo ou padrão de rede de comunicação iria predominar sobre outros e estar presente em todas as aplicações não se

mostrou verdadeira. Devido à imensa variabilidade de requisitos (confiabilidade, segurança, custo, meio físico, consumo de energia, banda disponível) nas mais diversas áreas (industrial, militar, empresarial, residencial) sempre existirá um padrão ou protocolo mais especializado e otimizado que outro para exercer certa função, tornando vantajosa sua aplicação em determinada área. O que se vê é que ao invés de se ter poucos protocolos realizando diversas tarefas, existem vários protocolos especializados em sua função e com capacidade de se integrar a outros. Assim, observa-se também a tendência cada vez maior de integração de redes de dados com redes de campo, permitindo, por exemplo, que um engenheiro de processos, através de seu *notebook*, modifique em tempo real os parâmetros de produção no chão de fábrica de sua empresa, mesmo estando a centenas de quilômetros de distância. Outra tendência, em estágio inicial, é a convergência entre redes de dados e redes de telefonia, onde uma começa a fornecer serviços que antes era prestado somente pela outra. Celulares já acessam a *internet* e ligações internacionais já são feitas de computadores domésticos.

Todo esse contexto dos diversos tipos de redes de comunicação, e suas interrelações, deve ser analisado e compreendido para que uma correta escolha seja feita na hora de aplicar estas tecnologias e também para detectar suas tendências de evolução.

2.2.1. REDES DE COMPUTADORES

As redes de computadores, também chamadas redes de dados, surgiram com advento dos computadores na metade do século XX. Sua principal função era permitir a conexão e a troca de informações entre os poucos computadores existentes

nas universidades americanas e formar um meio de comunicação alternativo e menos vulnerável a uma guerra que as redes de telefone. Naquela época toda comunicação militar americana era baseada na rede pública de telefonia (TANENBAUM, 2003). Dessa necessidade surgiu o ARPANET, que era um protocolo totalmente digital, contendo vários roteadores distribuídos ao longo do país, permitindo que inúmeras combinações de caminhos fossem possíveis para um pacote ser enviado a um destino. Isso garantia que a falha de alguns roteadores não desligasse o sistema completamente. Rapidamente a ARPANET se expandiu por todo os EUA ao longo dos anos de 1970. Apesar de seu sucesso, havia alguns problemas devido à baixa capacidade do ARPANET trabalhar sobre múltiplos tipos de redes. Outro problema era devido ao fato da necessidade de se ter um contrato especial com o Departamento de Defesa americano (DoD) para uma universidade poder utilizar o ARPANET (TANENBAUM, 2003). Assim pesquisas levaram ao surgimento do TCP/IP que foi amplamente difundido ao longo do mundo, criando-se a *Internet* que se tem hoje.

Um aplicativo de computador que acessa a *internet* utiliza vários protocolos, estruturado em camadas. Na transmissão de uma mensagem de um computador para um outro, cada camada acrescenta um tipo de serviço específico na mensagem até ela ser convertida em sinais de informação no meio físico. Para facilitar e padronizar o desenvolvimento de protocolos em redes de comunicação, foi definido um sistema de referência de camadas e seus respectivos serviços. Este modelo chamado de OSI/ISSO, é composto de sete camadas conforme a Figura 2.1.

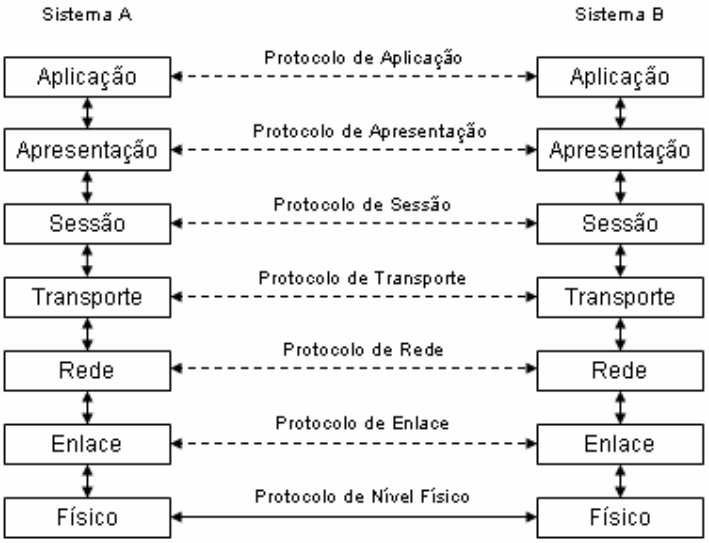

Figura 2.1 – Modelo de referência OSI/ISO.

Camada Física – esta camada especifica o meio físico utilizado (par trançado, rádio freqüência, fibra ótica, etc.), definições de níveis lógicos (a tensão elétrica ou modulação usada para representar o 1 e o 0 lógicos), duração do tempo do bit, interfaces mecânicas (tipo de cabo e conector, função de cada fio) (TANENBAUM, 2003).

Camada de enlace – este camada executa duas funções principais: verificação de erros e definição do método de acesso ao meio físico. Através de técnicas de verificação de erros, tais como CRC (*Cyclic Redundance Check*) ou *checksum*, esta camada garante que a mensagem enviada para a camada de rede esteja livre de erros de comunicação. O controle de acesso ao meio define, em redes com meios físicos compartilhados (*broadcast*), quando um elemento da rede poderá transmitir sua mensagem ou não. Para especificar esta função, a subcamada de controle de acesso ao meio MAC (*Medium Access Control*) define o protocolo utilizado para efetuar este acesso, tal como o CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*), TDMA (*Time Division Multiple Access*), Mestre/Escravo, etc. (TANENBAUM, 2003).

Camada de rede – realizar as funções de roteamento, de interconexão de redes diferentes, determinar tempo de trânsito da mensagem são alguns dos temas tratados nesta camada. Em redes simples ou sem roteamento, muitas vezes essa camada não é implementada (TANENBAUM, 2003).

Camada de transporte – sua função principal é garantir que a conexão com o destino final seja confiável sem se preocupar com pontos intermediários que a mensagem percorre. Ela determina em quantos pacotes uma mensagem proveniente das camadas superiores deve ser quebrada, se estes pacotes chegaram corretamente ao seu destino final e se foram montados na ordem correta pois a camada de rede não trata deste assunto (TANENBAUM, 2003).

Camada de sessão – permite fazer sincronização de mensagens (continuar de onde estava, caso ocorra perda de conexão), controle de diálogo (de quem é a vez de transmitir em uma comunicação já iniciada), entre outras funções que estabeleçam sessões de comunicação (TANENBAUM, 2003).

Camada de apresentação – esta camada trata de definir um modo padrão de comunicação para aplicativos que tenham representação de dados diferentes. Ela trata com a semântica e sintaxe da informação transmitida (TANENBAUM, 2003).

Camada de aplicação – contém o aplicativo que utiliza a rede de comunicação. Dezenas de protocolos utilizados na internet são definidos nessa camada, tais como HTTP, FTP, TELNET e o SMTP (*e-mail*).

Apesar do TCP/IP não ter sido criado baseando-se neste modelo, ele facilmente pode ser comparado a ele, ver Figura 2.2.

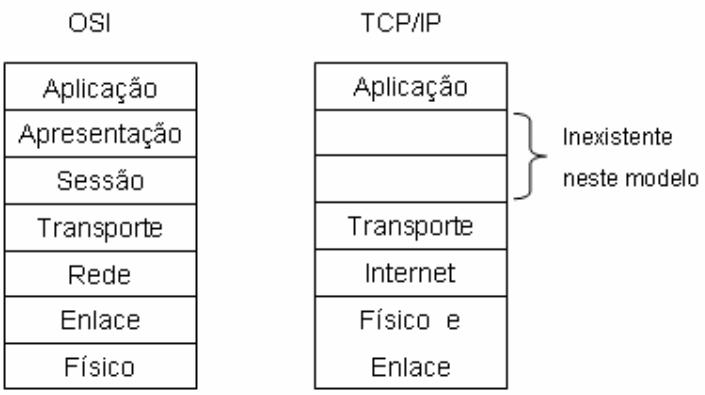

Figura 2.2 – Comparação entre modelo de referência OSI e TCP/IP (TANENBAUM, 2003).

A Figura 2.3 apresenta protocolos comuns nas diversas camadas da rede TCP/IP.

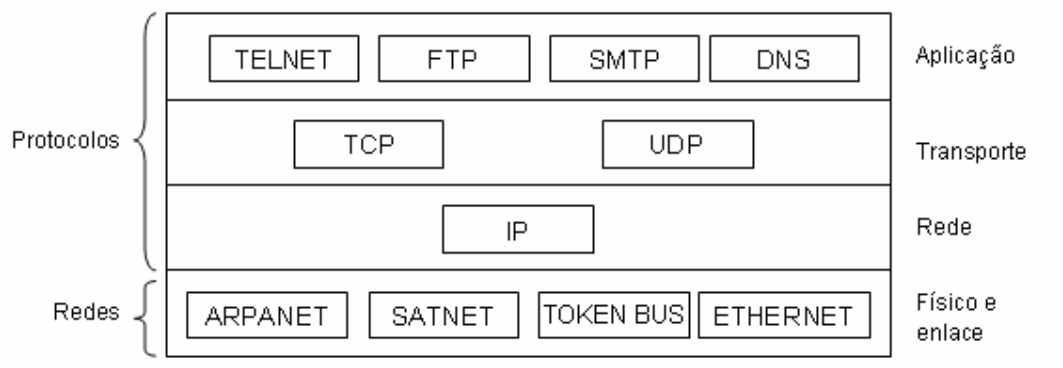

Figura 2.3 - Alguns protocolos nas diversas camadas da rede TCP/IP (TANENBAUM, 2003).

Mesmo não sendo seguido em muitos protocolos de redes de computadores, a definição do modelo de referência OSI/ISO facilitou extremamente a discussão e comparação de protocolos usados em redes de comunicação. Este modelo permitiu padronizar a nomenclatura e especificou, através das camadas as principais funções e serviços que uma rede de comunicação deve oferecer.

Tanenbaum (2003) cita os dois tipos de técnicas de transmissão utilizadas nestas redes. A *broadcast*, Figura 2.4, utiliza um meio físico compartilhado entre todas as máquinas. Nessa técnica, quando uma mensagem é enviada, todas as máquinas que compartilham o meio podem ler a mensagem e na mensagem existe um campo

de endereço indicando para qual máquina é endereçada a mensagem. Diferentemente, numa rede ponto a ponto, Figura 2.5, a rede é formada por várias conexões de pares individuais de máquinas. Assim quando uma mensagem é enviada, somente o seu par consegue ler. Para comunicar com máquinas mais distantes é necessário que a mensagem seja transmitida a máquinas intermediárias antes de chegar ao destino.

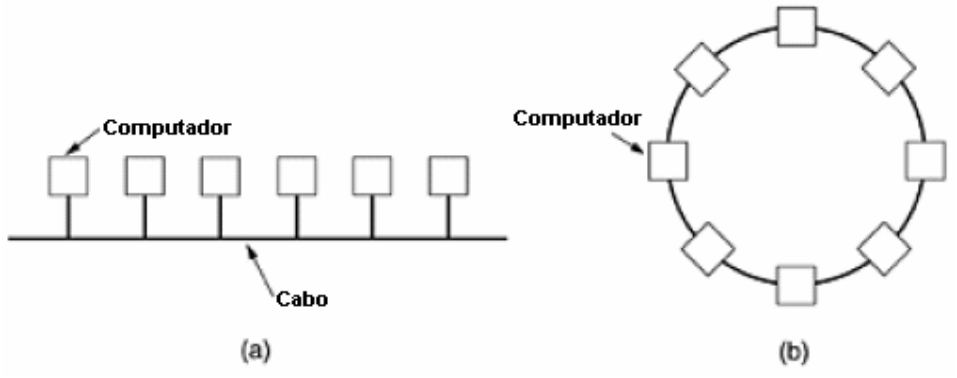

Figura 2.4 - Técnica de transmissão por broadcast (TANEMBAUM, 2003).

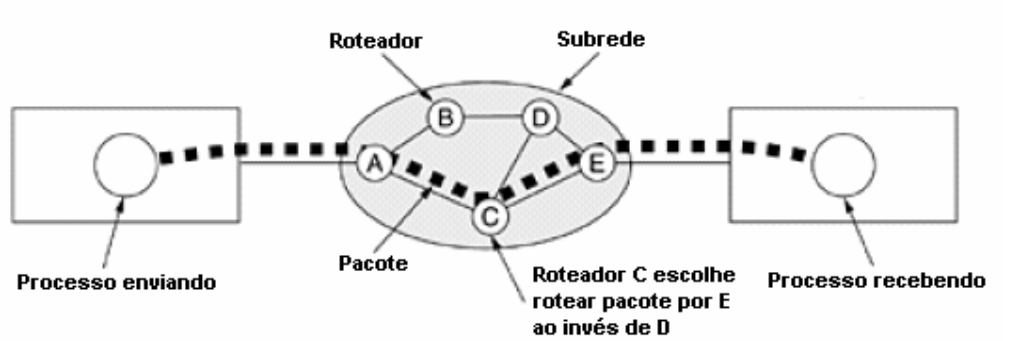

Figura 2.5 – Técnica de transmissão ponto a ponto (TANENBAUM, 2003).

Uma importante classificação das redes de computadores é quanto à distância abrangida pelo seu meio físico, Figura 2.6, pois para cada distância existem técnicas e protocolos mais adequados.

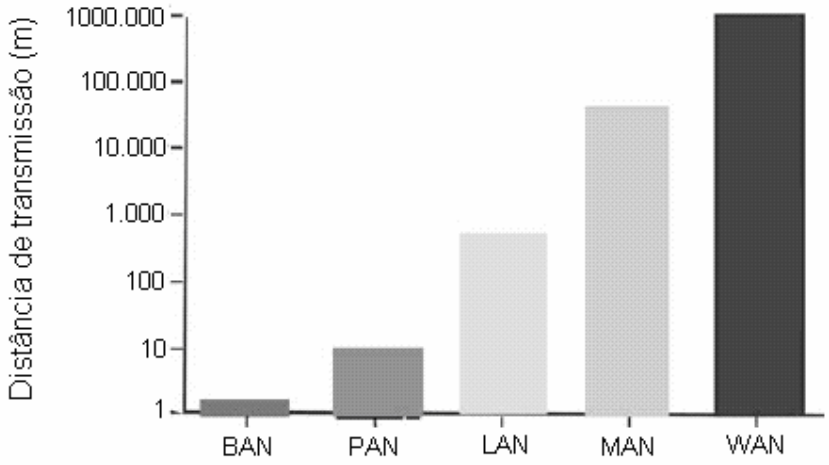

Figura 2.6 – Classificação de redes de dados quanto à distância de transmissão (COOK; DAS, 2005).

BAN – *Body Area Network* – rede de comunicação que atua numa distância não maior que a do próprio corpo da pessoa. Está relacionada com *wearable computer*, que são computadores e interfaces desenvolvidos para serem utilizados nas roupas (COOK; DAS, 2005). Atualmente, está na fase de desenvolvimento, não existindo protocolos ou padrões difundidos comercialmente.

PAN – *Personal Area Network* – são as redes de comunicações que abrangem distâncias em torno de 10m. Essa nomenclatura começou a se popularizar com o advento das redes sem fio para conexão de periféricos ao micro, como o *Bluetooth* (IEEE 802.15.1), permitindo a conexão dos aparelhos utilizados numa mesma área de trabalho tal como impressora, celular, *scanner* e PDA. Os requisitos deste tipo de redes geralmente são: baixo consumo de energia (alimentação por bateria), baixo custo, pequeno tamanho e nós leves. Podem existir protocolos com baixa taxa de comunicação (menor que 250kb/s), tal como o IEEE 802.15.4 desenvolvido para ser usado como uma pequena rede de sensores, ou com alta taxa de comunicação visando aplicações multimídias, tal como o IEEE 802.15.3a com taxas de até 100Mb/s.

LAN – *Local Area Network* – são as redes utilizadas para interconectar micros em um mesmo ambiente de trabalho. Geralmente não ultrapassam 100m ponto a ponto e o principal protocolo utilizado hoje é a Ethernet e o WiFi.

MAN – *Metropolitan Area Network* – conectam LANs em torno de uma cidade. A partir destas distâncias intermunicipais os protocolos costumam ser ponto a ponto com capacidade de roteamento. Redes ATM é um exemplo deste tipo de rede.

WAN – *Wide Area Network* – conectam MANs ao longo do país. São redes que conectam roteadores e possibilitam a interconexão mundial de computadores na *internet*.

Geralmente redes menores como, BANs, PANs e LANs tendem a usar o sistema de *broadcast,* enquanto redes maiores tendem a usar ponto a ponto.

Outra característica importante ao se analisar redes de comunicação é a topologia utilizada. A topologia influi diretamente nos protocolos da camada de enlace, principalmente na subcamada de acesso ao meio. A Figura 2.7 apresenta as topologias básicas comuns em redes de comunicação.

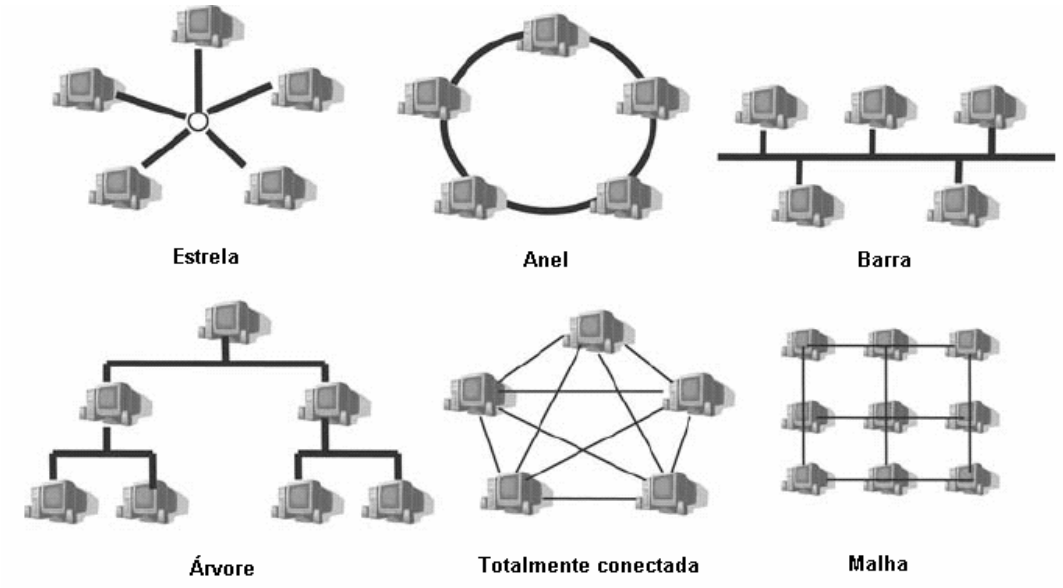

Figura 2.7 – Topologias básicas em redes de comunicação (COOK; DAS, 2005).

Protocolo	Banda Mbps	MAC	Topologia	Nº nós	Meio físico	Tipo	Aplicações
USB 2.0	480	Mestre-Escravo	Estrela	127	Par trançado	PAN	Conectar periféricos a computadores
Bluetooth IEEE 802.15.1	1	Mestre-Escravo	Estrela	8	RF 2,4GHz	PAN	Conexão sem fio de curto alcance entre dispositivos portáteis e computadores
IEEE 802.15.3	55	Mestre-Escravo	Estrela	-	RF 2,4GHz	PAN	Conexão sem fio de curto alcance com alta velocidade para aplicações de áudio e vídeo
IEEE 802.15.4	0,250	CSMA/ CA	Estrela/ Ponto a ponto	-	RF 868/915 MHz 2,4GHz	PAN	Conexão sem fio de curto alcance, baixa velocidade, consumo e custo para sensoriamento, controle e automação. O ZigBee é uma implementação das camadas superiores para este padrão visando garantir interoperabilidade entre produtos
Firewire IEEE1394	400/ 800	Mestre-Escravo	Árvore	64	Par trançado blindado	PAN/ LAN	Rede de alta velocidade para transmissão de vídeo e aplicações de alta velocidade
Ethernet IEEE 802.3	100	CSMA	Estrela	-	Par trançado	LAN	Rede local de computadores
Wifi IEEE 802.11/b	2/11	CSMA/ CA	Estrela/ Ponto a ponto	-	RF 2,4GHz	LAN	Rede local de computadores sem fio
HomePlug	100	CSMA TDMA	Livre	-	Rede elétrica	LAN	Aproveitar a rede elétrica das casas como meio físico alternativo para *internet*, distribuição de áudio/vídeo e aplicações de automação residencial

Quadro 2.2 – Características de protocolos principais para LAN e PAN.

Junto das redes de campo, as LANs, PANs e BANs formam a infra-estrutura básica de comunicação que permite a criação de ambientes pervasivos (COOK; DAS, 2005). O Quadro 2.2 apresenta características dos principais protocolos utilizados em PANS e LANS.

2.2.2. REDES DE CAMPO

As redes de campo surgiram devido à crescente necessidade de redução de custos de cabeamento, menor manutenção e maior flexibilidade em sistemas com capacidade de sensoriamento e atuação. Típicos sistemas deste tipo são os de controle e os de monitoramento.

Sistemas de controle são utilizados nas indústrias, edifícios e residências para automatizar tarefas e controlar processos. A história do controle de processos se inicia na revolução industrial quando o controle era feito através de sistemas mecânicos. Em seguida passaram a se utilizar sistemas hidráulicos, pneumáticos e eletromecânicos (SCHICKHUBER; MCCARTHY, 1997). Com o advento dos microprocessadores, o controle passou a ser feito através de sistemas eletrônicos digitais.

O primeiro tipo de sistema eletrônico baseado em microprocessador, amplamente difundido nas indústrias para controle de processos foi o CLP (Controlador Lógico Programável). Os CLPs são unidades de processamento com interface para conexão a diversos tipos de sensores e atuadores. Uma linguagem de programação lógica é usada para programar funções, interconectando suas entradas (digitais/analógicas) e saídas (relês, contatores, 4-20mA), permitindo o controle de processos de forma centralizada (sistemas de controle centralizado), ver Figura 2.8.

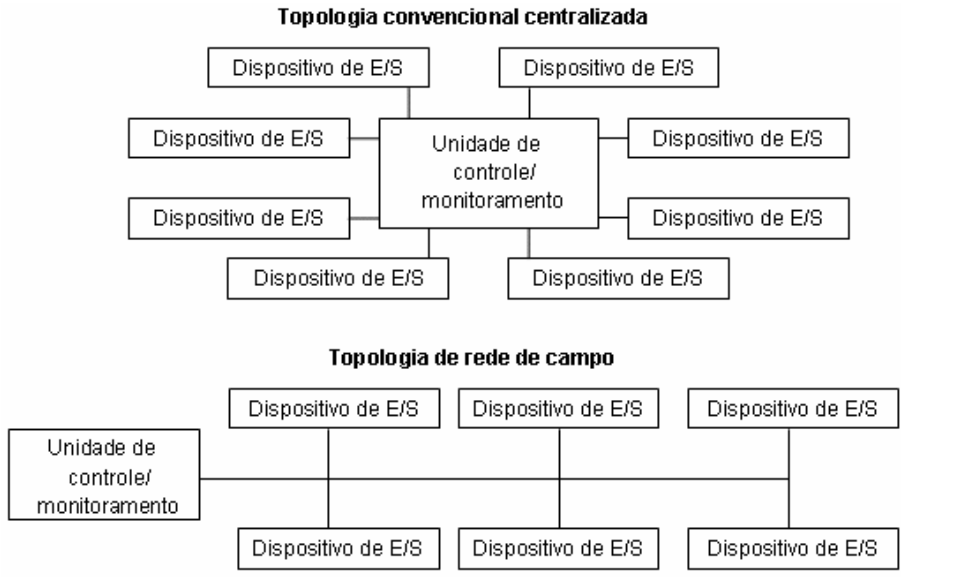

Figura 2.8 – Sistema de controle centralizado e rede de campo (SCHICKHUBER; MCCARTHY, 1997).

Apesar da facilidade de se programar e se fazer controle de processos com CLPs, muitas vezes é necessário utilizar o mesmo sensor ou atuador em mais de

um processo. Outras limitações da utilização de CLPs são: dificuldade de expandir um sistema, devido a um número limitados de entradas/saídas (E/S) por CLP, alto custo para sistemas maiores, devido principalmente a alta quantidade de fios utilizados num sistema centralizado. Para reduzir esses custos surgiram os sistemas seriais também conhecidos como redes de campo (*fieldbus*), ver Figura 2.8 (SCHICKHUBER; MCCARTHY, 1997).

Nesse tipo de rede, uma estação central de controle (mestre) comunica-se com todos os dispositivos de E/S conectados à rede (escravos). O mestre coordena a rede e somente ele pode iniciar uma comunicação, todos os outros nós dependem dele para se comunicar (SCHICKHUBER; MCCARTHY, 1997). Dessa forma, a estrutura de controle se tornou muito mais flexível, permitindo que novos sensores e atuadores fossem adicionados àa rede, bastando para isso atualizar o *software* de controle do mestre. Outra característica desta rede é que o algoritmo de controle é implementado no nó mestre, sendo que os escravos realizam somente funções de sensoriamento e atuação.

Apesar dos avanços conseguidos com esta arquitetura de redes de campo, novas demandas, tais como controle distribuído, operações em tempo real e utilização de cabeamento de menor custo, levaram ao surgimento das redes de campo distribuídas (*distributed fieldbus*), Figura 2.9 (SCHICKHUBER; MCCARTHY, 1997). Em geral essas redes são implementadas usando o modelo ISO/OSI reduzido para 3 camadas (física, enlace e aplicação).

Logo em seguida às redes de campo distribuídas surgiram as redes de controle distribuído, Figura 2.9, caracterizadas por: possibilitar o uso de diversos tipos de topologia (inclusive topologia livre), utilização de variados meios físicos, elementos de roteamento e interconexão de rede, melhor implementação do modelo OSI/ISO, pa-

dronização de interfaces na camada de aplicação garantindo maior interoperabilidade (SCHICKHUBER; MCCARTHY, 1997).

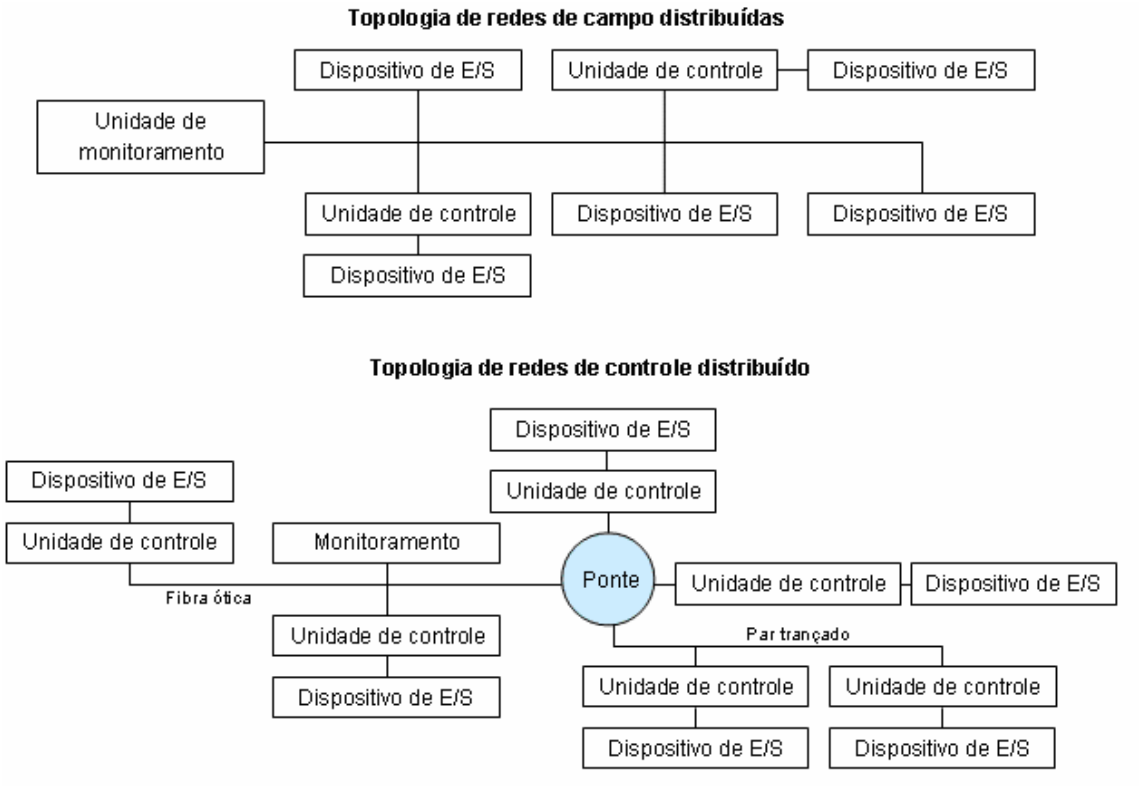

Figura 2.9 – Redes de campo distribuídas e redes de controle distribuídas (SCHICKHUBER; MCCARTHY, 1997).

Uma importante diferença numa rede de controle distribuído em relação às anteriores está no protocolo de acesso ao meio. Este permite que todos os nós publiquem na rede sem necessidade de um mestre e também a possibilidade de haver vários controladores numa mesma rede, não havendo distinção lógica entre controladores e dispositivos de E/S (sensores e atuadores).

As diversas denominações (redes de campo, redes de campo distribuídas, redes de controle distribuído) utilizadas em sistema de controle e monitoramento surgiram acompanhando as inovações tecnológicas e os respectivos requisitos de comunicação da época. Muitas vezes essas denominações estão atreladas ao surgimento de um produto ou protocolo específico. Dessa forma, a utilização do termo redes de

campo, ou *fieldbus* é usado genericamente para descrever todas essas redes otimizadas para controle e monitoramento de processos.

Assim, verifica-se a tendência da adoção de redes de campo nas novas aplicações de controle e automação em detrimento dos sistemas de controle centralizado. Vários critérios são necessários para uma escolha correta do tipo de rede a ser adotada num projeto (SCHICKHUBER; MCCARTHY, 1997), entre eles pode-se citar:

- Custos dos nós, da instalação da rede, de operação e da manutenção;
- Qualidade de Serviço (QoS) do protocolo;
- Capacidade de integração a outros sistemas de automação;
- Topologia e tipos de meios físicos utilizados;
- Número de nós no meio e comprimento máximo dos cabos;
- Flexibilidade para expansão do sistema;
- Segurança quanto às falhas de nós e imunidade a ruídos;
- Sistema baseado em eventos ou determinístico;
- Disponibilidade de ferramentas de configuração e variedade de produtos.

Dependendo da aplicação, certos critérios apresentam maior prioridade que outros, levando ao surgimento dos diversos padrões de redes de campo. O Quadro 2.3 apresenta padrões de redes de campo em vários nichos de mercado.

Redes para automação industrial	Redes para automação residencial/predial	Redes de processos embarcados (automotiva/aviação)
Fieldbus Foundation	LonWorks	CAN
HART	BacNet	OBD
WorldFIP	Cebus	LIN
Profibus	EIB	MOST
Modbus	X-10	NASA SPIDER
Ethernet industrial		Honeywell SAFEbus

Quadro 2.3 – Alguns padrões de redes de campo em seus nichos de mercado.

2.2.3. REDES DE SENSORES

Rede de sensores é um nome genérico utilizado para designar redes de comunicação otimizadas para coleta de informações altamente dispersas no ambiente. Há algumas décadas, redes com este objetivo já são utilizadas em monitoramento ambiental, monitoramento das linhas de transmissão de energia e em sistemas de defesa (redes de sensores acústicos para detecção de submarinos no fundo do oceano, SOSUS – *Sound Surveillance System*) (CHONG, 2003). Ainda assim, somente recentemente, com os diversos avanços nas áreas de microeletrônica, sistemas micro-eletro-mecânicos (MEMS), de comunicação e com a diminuição de custos de componentes eletrônicos é que as redes de sensores estão sendo alvo de intensa pesquisa. O objetivo é tornar viável milhares de aplicações envolvendo sensoriamento e coleta de informações do ambiente. Para se ter uma idéia do crescimento das pesquisas em redes de sensores (ILYAS; MAHGOUB, 2004) cita que em agosto de 2003 o número de resultados de uma busca por *sensor networks* no Google era de 26000. Busca similar realizada pelo autor deste trabalho em abril de 2007 resultou em mais de 1040000 itens.

As aplicações vislumbradas para utilização de redes de sensores são as mais variadas possíveis: automação residencial e industrial (sensoriamento de variáveis de processos), monitoramento de ambientes hostis (fundo do mar, vulcões, exploração inter-planetária, etc.), coleta de informações em linhas inimigas (sensores lançados de aviões para detecção de minas explosivas, gases tóxicos, etc.), auxílio à produção agrícola (acompanhamento de características do solo, temperatura do ar, umidade em milhares de pontos da plantação, etc.), controle do envelhecimento de estruturas (tensões estruturais, dilatações, vibrações em

pontes, estádios, edifícios, etc.), monitoramento da saúde de pessoas (sensores coletam informações corpóreas), entre outros exemplos.

O Quadro 2.4 demonstra algumas características das primeiras redes de sensores comparadas com as atuais e as previstas para o futuro.

	Passado (1980)	Presente	Futuro
Tamanho	Maiores que caixa de sapato	Tamanho de um cartão a pequena caixa de sapatos	Partícula de poeira
Peso	Quilogramas	Gramas	Desprezível
Arquitetura dos nós	Sensoriamento, processamento e comunicação separados	Sensoriamento, processamento e comunicação integrados	Sensoriamento, processamento e comunicação integrados
Topologia	Ponto a ponto, estrela	Cliente servidor, ponto a ponto	Ponto a ponto
Duração da alimentação	Grandes baterias, horas, dias	Baterias AA, dias a semanas	Solar, meses a anos
Instalação	Sensores individuais lançadas do ar ou de veículos	Colocação manual	Embutida em objetos, pulverizada

Quadro 2.4 – Evolução das redes de sensores (CHONG, 2003).

É importante ressaltar que devido a enorme quantidade de aplicações, as características das redes de sensores (meio físico, distância e velocidade de comunicação, tamanho dos nós, forma de alimentação, taxa máxima de erros, custo de produção) variam enormemente e, portanto, na análise destas redes o contexto de aplicações deve ser sempre considerado. A Figura 2.10 apresenta exemplos de redes de sensores comerciais e de projetos acadêmicos desenvolvidos atualmente.

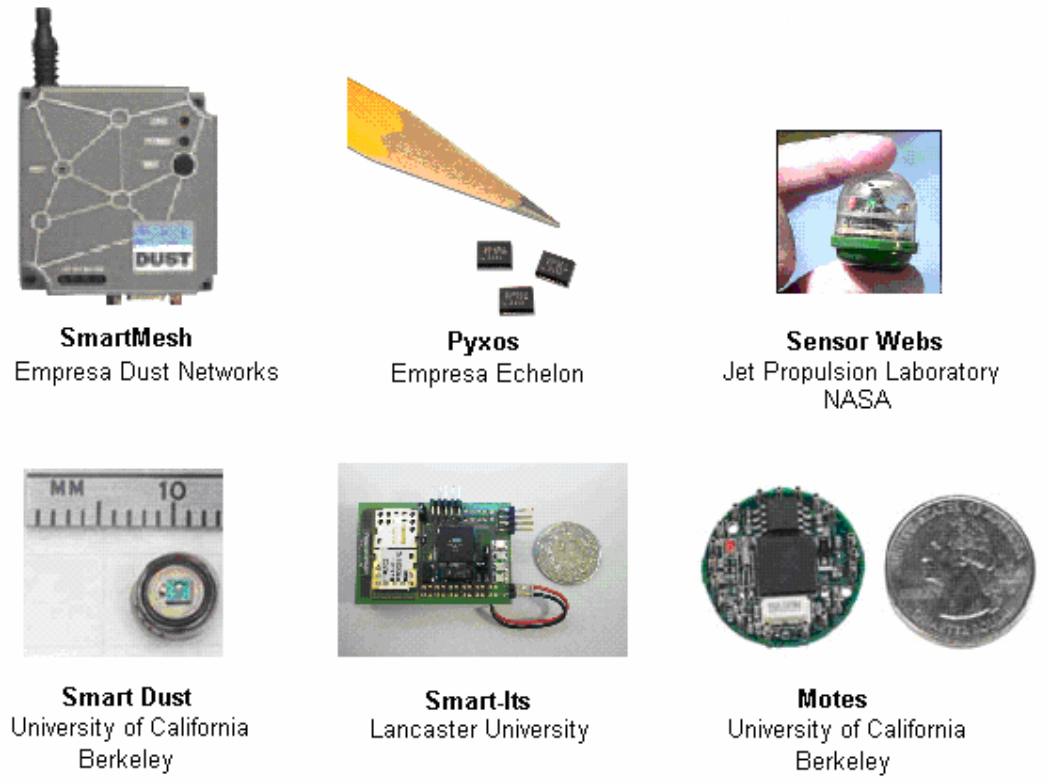

Figura 2.10 – Exemplos de redes de sensores comerciais e acadêmicas.

2.2.3.1. Características de redes de sensores

Meio físico – vários meios físicos são utilizados em redes de sensores. Par trançado, rádio freqüência e óticos são alguns dos meios mais utilizados. Cada meio físico apresenta vantagens e desvantagens e sua utilização está relacionada diretamente com a aplicação. Recentemente as redes de sensores sem fio vêm sofrendo um grande incremento em seu desenvolvimento. Isto se deve por apresentarem maior flexibilidade de utilização (nós podem ser móveis), mínimos esforços de instalação e manutenção comparadas com redes tradicionais com fio. Várias limitações presentes no passado foram superadas e hoje já existem transceptores de rádio freqüência que comunicam a altas velocidades (Mbit/s),

em um amplo espectro freqüências, operam em várias distâncias (de dezenas de metros a quilômetros), tem baixo consumo de energia (ordem de mW) e seus custos estão decaindo. Outros meios físicos sem fio, tais como ótico (laser) ou infravermelho, são utilizados em aplicações que apresentam limitações ao uso da rádio freqüência. No caso do Smart Dust, o nó sensor deve ter escala de alguns milímetros de tamanho, tornando as antenas de rádio pouco eficientes energeticamente nesta escala (RUIZ et al., 2004). As redes de sensores com fio, apesar de suas limitações quanto à flexibilidade e manutenção, beneficiam-se de poder ter uma maior demanda por energia em suas aplicações (pois o mesmo cabo que é utilizado para comunicar pode ser utilizado para fornecer potências aos nós sensores). Esta oferta maior de energia permite aos nós utilizarem maiores recursos (maior processamento, memória, velocidades de comunicação, atuadores de alta potência). Redes com fio também são menos sujeitas a interferências e ao bloqueio de sinal do que redes sem fio, e isto muitas vezes pode ser um fator preponderante nas aplicações. Os transceptores para redes com fios ainda têm custo muito inferior aos sem fio (com as mesmas características de banda e distância) contribuindo para tornar nós destas redes mais baratos.

Alimentação – várias são as possibilidades de alimentação dos nós de redes de sensores. Se as redes estiverem instaladas em casas urbanas, uma opção é utilizar a energia abundante da própria rede elétrica. Cada nó pode retirar energia diretamente da rede elétrica, ou pode-se adotar uma fonte central fornecendo energia para vários nós. Em outras situações onde a energia não esteja próxima, como em aplicações rurais, pode-se tentar obter energia do próprio ambiente (solar, eólica) ou utilizar uma bateria que consiga suprir a demanda de energia pelo tempo necessário. Ainda em fase de pesquisa, (KURS et al., 2007) propõe a

transferência de energia sem fio a distância através do uso de campos magnéticos ressonantes. Demonstraram experimentalmente a transferência de energia com potência de 60W numa distância de 2m com uma eficiência de transferência de 40% (KURS et al., 2007).

Nas redes de sensores sem fio, uma das maiores restrições à sua aplicação é a disponibilidade de energia. As redes de sensores sem fio disponíveis comercialmente hoje, necessitam em média de uma potência da ordem de 100μW a 1mW utilizando técnicas e circuitos de baixa potência (STOJMNOVIC, 2005). Para essa demanda as baterias padrões de baixo custo, como a CR2032 e AA alcalina, permitem durabilidade de alguns meses a poucos anos. Em muitas aplicações previstas esta durabilidade é inaceitável, pois o custo de troca de baterias pode ser altamente proibitivo em redes com altas quantidades de sensores. Assim, um esforço enorme está sendo conduzido tanto na diminuição da potência requerida pelos nós sensores, quanto em novas formas de armazenar energia e retirá-la do ambiente. A Tabela 2.1 apresenta comparativamente algumas formas de se obter e armazenar energia.

Tabela 2.1 – Comparação de potenciais fontes de energia para redes de sensores. (STOJMNOVIC, 2005)

Fonte de energia	[a] P/cm^3 (μW/cm^3)	[b] E/cm^3 (J/cm^3)	[c] P/cm^3/ano (μW/cm^3/ano)	Necessidade de armazenar energia	Regulagem de tensão necessária	Disponível comercialmente
Pilhas	-	2880	90	Não	Não	Sim
Baterias recarregáveis	-	1080	34	-	Não	Sim
Micro-célula combustível	-	3500	110	Talvez	Talvez	Não
Ultra capacitor	-	50-100	1,6-3,2	Não	Sim	Sim
Micro motor térmico	-	3346	106	Sim	Sim	Não
Fontes radioativas (^{63}Ni)	0,52	1640	0,52	Sim	Sim	Não
Solar (luz externa)	15000[d]	-	-	Geralmente	Talvez	Sim
Solar (luz interna)	10[d]	-	-	Geralmente	Talvez	Sim
Diferenças de temperatura	40[d,e]	-	-	Geralmente	Talvez	Limitada
Potência humana	330	-	-	Sim	Sim	Não
Fluxo de ar	350[f]	-	-	Sim	Sim	Não
Variação de pressão	17[g]	-	-	Sim	Sim	Não
Vibração	200	-	-	Sim	Sim	Limitada
Deformação	200	-	-	Sim	Sim	Limitada

[a]Potência fornecida por fontes sem capacidade de armazenar energia.

[b]Energia armazenada por unidade de volume em fontes que armazenam energia.

[c]Potência média das fontes que armazenam energia para terem uma durabilidade de 1 ano.

[d]Denota as fontes que a métrica fundamental é potência por cm^2, ao invés de cm^3.

[e]Demonstrado para uma diferença de temperatura de 5°C.

[f]Baseado em valores reportados de velocidade de ar de 5m/s e 11% de eficiência de conversão.

[g]Baseado em volume fechado de 1 cm^3 de hélio realizando 10°C de mudança de temperatura uma vez por dia.

Topologia – Redes de sensores com fio já operam em topologia livre, podendo ser utilizada qualquer configuração topológica (barra, estrela, anel), caso da Pyxos produzida pela Echelon (PYXOS, 2006). Redes de sensores sem fio estão convergindo para topologia em malha, onde nós vizinhos comunicam entre si, transportando informações para nós mais distantes. Assim, mesmo tendo uma potência de transmissão limitada, as mensagens podem ser transmitidas a distâncias muito maiores através de roteamento dos pacotes nos nós adjacentes.

Acesso ao meio – o transceptor de comunicação é um dos elementos em redes de sensores com o maior consumo de energia. Técnicas de acesso ao meio que minimizem sua utilização contribuem substancialmente para economia de energia, principalmente em sistemas sem fio. Assim, em redes de sensores sem fio, diversos protocolos de acesso ao meio foram sugeridos visando economia de energia, sendo o CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) e suas variações os mais utilizados (RUIZ et al., 2004). Em redes de sensores com fio, como a energia não costuma ser o fator limitante, a utilização da configuração mestre/escravo num modo de operação determinístico é amplamente utilizada.

Auto-gerenciamento – em aplicações com grande número de nós sensores ou de áreas de difícil acesso é indesejável dispor um operador humano para configurar a rede e mantê-la em operação. Para isso, novos requisitos quanto à auto-configuração e auto-manutenção foram propostos para redes de sensores. Nesses casos, nós sensores devem ser capazes de detectar nós vizinhos, entrar num processo de negociação de canal e se inserir no algoritmo de roteamento da topologia em vigor. A rede deve continuar a funcionar mesmo com falhas de nós, adaptando-se a novas situações.

2.2.3.2. Exemplos de redes de sensores

- **Plataforma Pyxos**

É uma rede de sensores desenvolvida pela empresa Echelon com o objetivo de expandir a rede de controle distribuído Lonworks, que é otimizada para funções controle. Nós Lonworks custam a partir de US$60 e este valor torna inviável muitas apli-

cações que necessitam de uma densa coleta de informações do ambiente. Pyxos é uma plataforma que possibilita criar nós para sensoriamento e atuação a partir de US$2,00 (valor do *chip* Pyxos), podendo ser facilmente integrada à rede Lonworks. Essa plataforma é baseada num *chip* (Pyxos *chip*) que comunica com outros nós Pyxos numa configuração mestre/escravo, onde um dos nós Pyxos coordena a rede. A comunicação ocorre de forma determinística, com velocidade de 312,5 kbit/s, permitindo até 32 nós num meio físico de par-trançado. Com essa banda, é possível definir até 128 variáveis por nó, ocorrendo uma varredura a cada 25ms, no mínimo por variável. O comprimento do cabo pode ser de até 400m numa topologia em barra e de 100m utilizando topologia livre Figura 2.11.

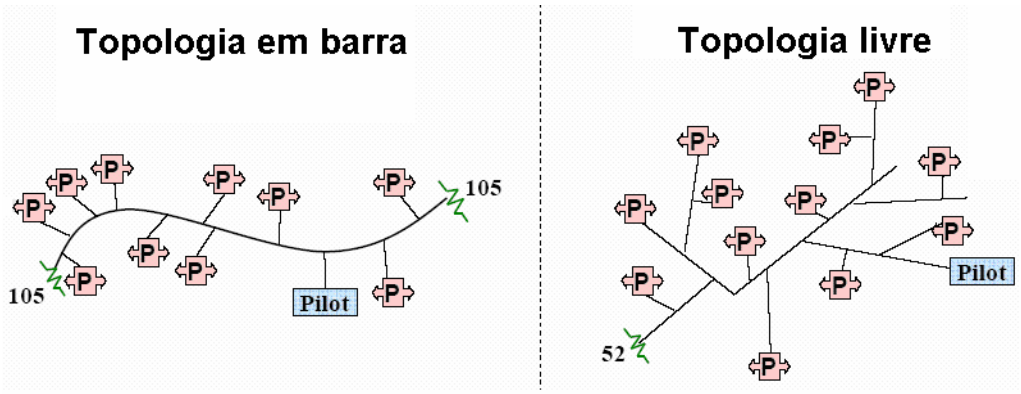

Figura 2.11 – Topologias usadas nas redes de sensores Pyxos. (PYXOS, 2007).

O *chip* Pyxos possui quatro pinos digitais que podem operar com entrada ou saída e um que trabalha somente como entrada digital, Figura 2.12. Na configuração simples, não é necessário microprocessador para o Pyxos operar. Ele possui algoritmo de auto-configuração com o nó mestre (*pilot*) e suas entradas e saídas digitais podem ser usadas diretamente. Em aplicações que exijam maiores recursos um microprocessador pode ser acoplado ao *chip* Pyxos através de um interface SPI (*Serial Peripheral Interface*).

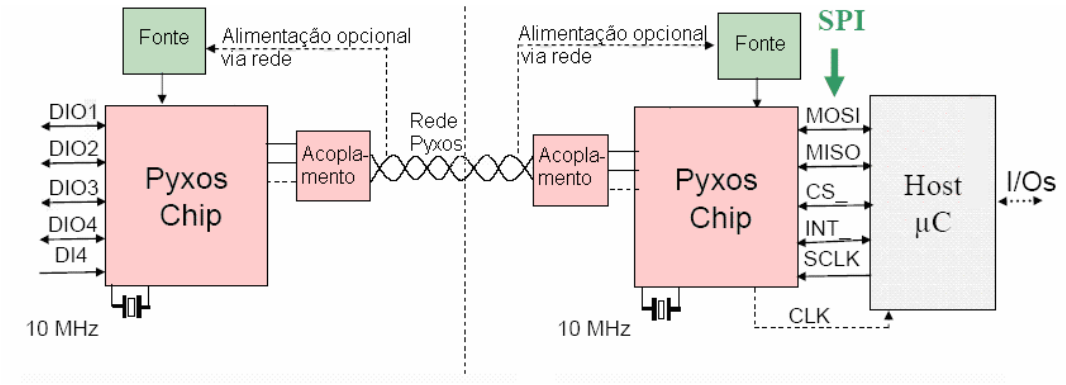

Figura 2.12 – Arquiteturas típicas de nós Pyxos (PYXOS, 2007).

Utilizando filtros e acoplamentos adequados, o mesmo par trançado utilizado na comunicação pode fornecer a alimentação aos nós através de uma fonte de 24VAC ou 24VDC.

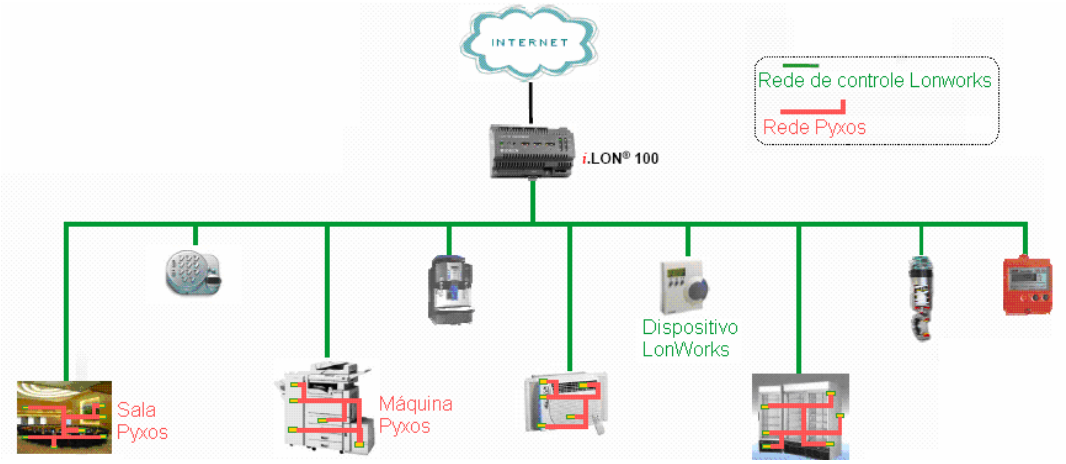

Figura 2.13 – Integração de rede de sensores (Pyxos), rede de controle (Lonworks) e Internet. (PYXOS, 2007).

Operando em conjunto com a rede de controle Lonwoks, a rede Pyxos apresenta a arquitetura mostrada na Figura 2.13, onde para cada rede Pyxos existe um nó mestre que faz a ponte com a rede Lonworks.

- **Plataforma SmartMesh Wireless Network**

Desenvolvida pela empresa Dust Networks, o sistema SmartMesh é uma rede de sensores sem fio, em que os nós podem operar até 10 anos sem necessidade de recarga de bateria (SMARTMESH, 2006). A rede conta com 2 tipos de nós: os *motes* que são nós sensores (ou também atuadores) dispostos no campo e um nó gerenciador (*Manager*) que gerencia a rede e serve de ponte para outros sistemas. Cada *mote* trabalha também como roteador, retransmitindo mensagens de *motes* vizinhos. As informações geradas pelos *motes* são transmitidas para o nó gerenciador e este por sua vez retransmite para a aplicação supervisora. Cada gerenciador pode operar com até 250 *motes*. O sistema utiliza rádios no padrão IEEE 802.15.4 a 2,4GHz, ou a 900MHz com rádios proprietários. Com esses rádios é utilizada uma técnica de sincronização de tempo chamada TSMP (*Time Synchronized Mesh Protocol*), onde cada nó sensor tem um *slot* de tempo permitido para comunicar, evitando assim colisões (TSMP_PROTOCOL, 2006). Outra característica deste sistema é o *frequency hoping*, que permite utilizar mais de uma freqüência de comunicação, caso haja ruídos no meio. Até 15 canais podem ser utilizados para realizar o *frequency hoping* (deslocados 5MHz um do outro sobre a freqüência central). Os nós também têm capacidade de auto-organização, descobrindo vizinhos, medindo a força do sinal de rádio freqüência (RF), realizando a sincronização de tempo e estabelecendo rotas de caminhos com seus vizinhos. As distâncias de comunicação entre cada nó variam de 25m (ambientes fechados) a 200m (ao ar livre) (SMARTMESH, 2006).

A Figura 2.14 apresenta uma aplicação onde sensores de temperatura, gás carbônico (CO_2), ocupação e atuadores de vazão de ar são utilizados para realizar

HVAC (*Heating Ventilating and Air Conditioning*). Com uma taxa de atualização de uma vez por minuto as baterias têm durabilidade esperada de 3 a 5 anos (HVAC_APP, 2005).

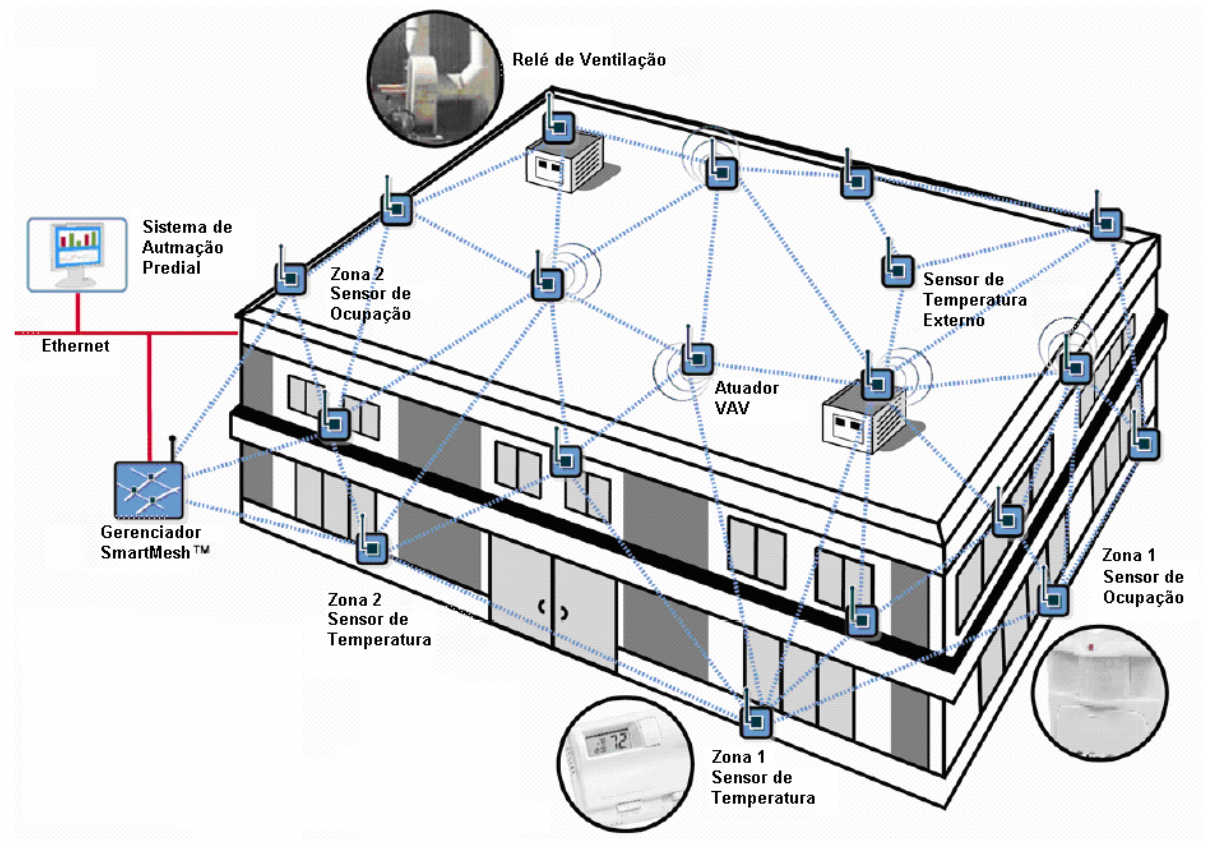

Figura 2.14 –Exemplo de aplicação de HVAC com a rede SmartMesh (HVAC, 2005).

2.2.4. REDES DE TELEFONIA

O telefone foi patenteado em 1876 por Alexander Graham Bell. Inicialmente a interconexão entre dois telefones era feita conectando-se diretamente os dois telefones com um par de fios de cobre. À medida que novos telefones surgiam novos fios de cobre eram levados aos telefones existentes somando-se aos pares que provi-

nham de outros telefones instalados, gerando um emaranhados de fios pela cidade, Figura 2.15 (a).

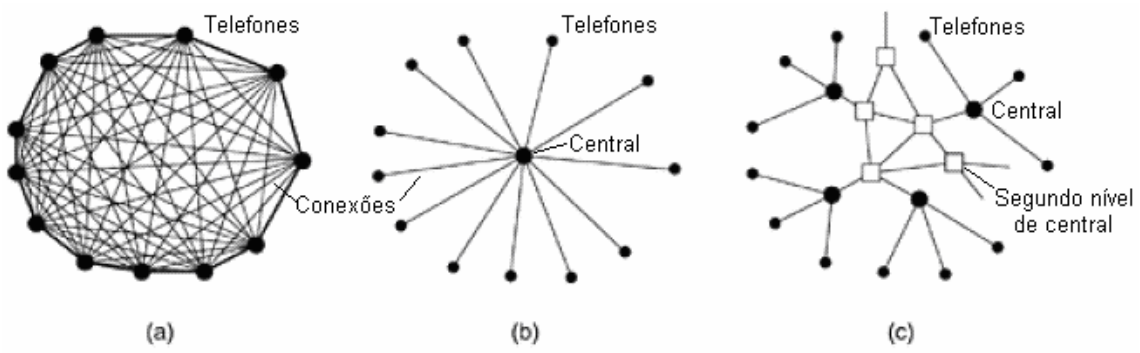

Figura 2.15 – (a) Rede totalmente interconectada (b) Central de telefone (c) Hierarquia de dois níveis conectando diversas centrais de telefone (TANENBAUM, 2003).

Como essa topologia era inviável devido a enorme quantidade de fios, logo foi criada a central de telefone, Figura 2.15 (b). Assim, os telefones passaram a ser todos conectados a uma central e para alguém falar com outra pessoa era necessário chamar antes um operador na central que era encarregado de ligar, num painel, os fios que conectavam dois telefones. Com o crescimento do uso dos telefones e a necessidade de interligação entre cidades, novos níveis de centrais apareceram, sendo estas encarregadas de ligar somente centrais com centrais, Figura 2.15 (c). Ainda no século XIX foram inventados circuitos automáticos de chaveamento, não sendo mais necessário o operador de telefone para rotear uma chamada. Assim formou-se há quase 100 anos atrás a estrutura de telefonia fixa, ainda utilizada hoje, Figura 2.16.

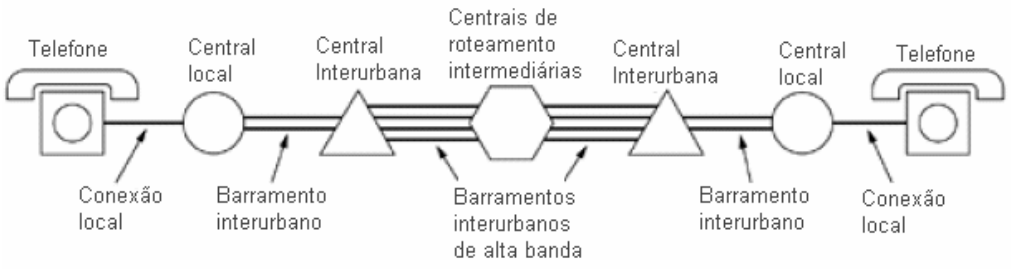

Figura 2.16 – Circuito de roteamento típico para chamadas interurbanas (TANENBAUM, 2003).

Na criação do sistema de telefonia, sua grande aplicação era possibilitar a transmissão de voz. Para isso, uma banda de 3000 Hz provou-se suficiente, filtros foram adicionados aos cabos telefônicos de forma a filtrar sinais acima de 3400 Hz e abaixo de 300 Hz (TANENBAUM, 2003).

Com o advento dos computadores na década de 60 e 70, as redes de telefonia começaram a ser utilizadas também para a transmissão de dados entre computadores, servindo de meio físico de rede. Utilizando diversas técnicas simultâneas de modulação, foram desenvolvidos *modems* que operam a freqüências de até 56kbps utilizando a banda de 3000 Hz analógico da telefonia. Assim começou a popularização da *Internet* através dos provedores de acesso (ISP). A partir de então, novas técnicas de transmissão de dados pela linha telefônica foram desenvolvidas culminando com a técnica ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) mais difundida hoje. Nesta, a limitação de 3000 Hz da linha telefônica foi eliminada pois a própria operadora telefônica instala *spliters* (divisores de banda) nas linhas que terão acesso ao serviço, separando a banda em duas faixas, uma abaixo de 3000 Hz para voz e outra acima de 26000 Hz para dados. Taxas de mais de 10 Mbps são possíveis com *modems* ADSL.

No fim do século XX as redes de telefonia já eram utilizadas mais para transmissão de dados do que para transmissão de voz (TANENBAUM, 2003).

Celulares

A partir da década de 1980 os celulares começaram a entrar em operação nos Estados Unidos e na Europa. Sua principal função era atender a demanda de usuários que estivessem se movendo e, portanto, incapazes de terem acesso a um telefone fixo. Desde então, três gerações de celulares se desenvolveram:

1ª - Celulares analógicos para voz;

2ª - Celulares digitais para voz (TDMA, GSM, CDMA);

3ª - Celulares digitais para voz e dados (3G).

Diferentemente da telefonia fixa, a utilização da rede de celulares para transmissão de dados ainda não ultrapassou a sua utilização para transmissão de voz. Como a geração 3 ainda está em fase de desenvolvimento o custo da banda nos celulares da geração 2 é muito superior ao da telefonia fixa e sua utilização para transmissão de dados ainda é restrita.

Os serviços básicos previstos para a geração 3 são (TANENBAUM, 2003):

- Alta qualidade de transmissão de voz;
- Mensagens (substituindo *e-mail*, fax, sms, *chat*, etc.);
- Multimídia (tocar música, ver filmes, televisão, etc.);
- Acesso a internet (navegar na *web*, incluindo páginas com vídeo e áudio).

Pesquisadores já estão discutindo um novo padrão, o 4G. Neste, serão consideradas novas características incluindo disponibilidade de alta largura de banda, ubiqüidade, integração com redes, especialmente TCP/IP, capacidade de adaptação de recursos, gerenciamento de espectro de rádio freqüência e alta qualidade em serviços multimídia.

A grande dificuldade em se definir estes padrões (GSM, 3G, 4G) se deve ao fato de altos investimentos em infra-estrutura serem necessários para disponibilizar estes serviços (torres e equipamentos de transmissão, produção em alta escala para viabilizar vendas, concessões governamentais, etc.). Como novos serviços e aplicações são criados a todo momento, um sistema que não consiga se adaptar a novas necessidades pode correr um grande risco de se tornar obsoleto rapidamente.

2.3. SISTEMAS DE IDENTIFICAÇÃO DE PESSOAS E OBJETOS

Sistemas de identificação são aqueles com capacidade de retirar informação de identidade de pessoas, animais ou objetos. São utilizados no comércio, no acesso a contas bancárias, na logística de mercadorias, no controle de ponto no trabalho e da freqüência escolar de alunos, na autorização de acesso a ambientes, entre outras aplicações.

Dentre os vários tipos de sistemas de identificação, devem-se evidenciar algumas características que irão determinar a sua escolha para uma aplicação. Entre elas podem-se citar: a tecnologia utilizada, a necessidade de se portar um cartão ou identificador especial junto da pessoa/objeto, se o sistema é auto-interrogativo, ou seja, se é necessária uma ação específica de uma pessoa para ocorrer a identificação (como por exemplo, passar um cartão numa leitora), a exatidão da identificação e a segurança do sistema contra fraudes.

2.3.1. SENHA/TECLADO

A identificação por senha/teclado é altamente difundida em computadores pessoais para controle de acesso a contas de usuários. Os dados geralmente são acessados mediante a combinação de um par usuário/senha, onde o usuário indica o seu nome, e a senha é um código secreto para restringir o acesso. As vantagens desse sistema são: custo de implementação baixo, pois geralmente é utilizado quando já existe a infra-estrutura de computador/teclado instalada; não necessita do usuário portar um identificador especial, pois o nome do usuário e a senha devem ser memorizados. São desvantagens deste sistema: não ser auto-interrogativo, ne-

cessitar de atenção do usuário para identificar-se e também não ser imune a fraudes.

2.3.2. IDENTIFICAÇÃO POR CARTÕES

2.3.2.1. Cartão magnético

É um tipo de cartão que armazena dados em uma pequena fita magnética fundida a ele, composta de partículas de material ferromagnético muito similar as usadas nas fitas cassete. A informação no cartão é lida mediante de contato físico e deslizamento do cartão numa leitora. São utilizados em cartões de crédito, cartões de identificação, tíquetes de transporte, e outros afins. Foi um dos primeiros tipos de cartão mundialmente difundidos nestas aplicações.

Existem duas variedades principais de fitas magnéticas (MAGNETICSTRIP, 2007): a de alta coerção a 4000 Oe e a de baixa coerção a 300 Oe. Fitas de alta coerção são mais difíceis de apagar sobre influência de um campo magnético e são mais apropriadas em cartões que serão muito utilizados e necessitam de uma vida maior, como cartões de banco. Os de baixa coerção são mais baratos e mais utilizados em tíquetes de transporte de massa.

Há diversos padrões internacionais definindo características dos cartões para as mais diversas aplicações. De acordo com (MAGNETICSTRIP, 2007), em cartões de banco que seguem a norma ISO 7811 são utilizadas fitas com 3 trilhas de dados, Figura 2.17. Estas trilhas têm 75 ou 210 bits/polegada, armazenam um valor próximo a 1000 bits de informação (as três somadas) e são organizadas para conter informações de nome do cliente, número da conta, data de validade do cartão, além

de outros dados incluindo um caractere de verificação de erro. O Quadro 2.5 apresenta características das trilhas num cartão ISO 7811.

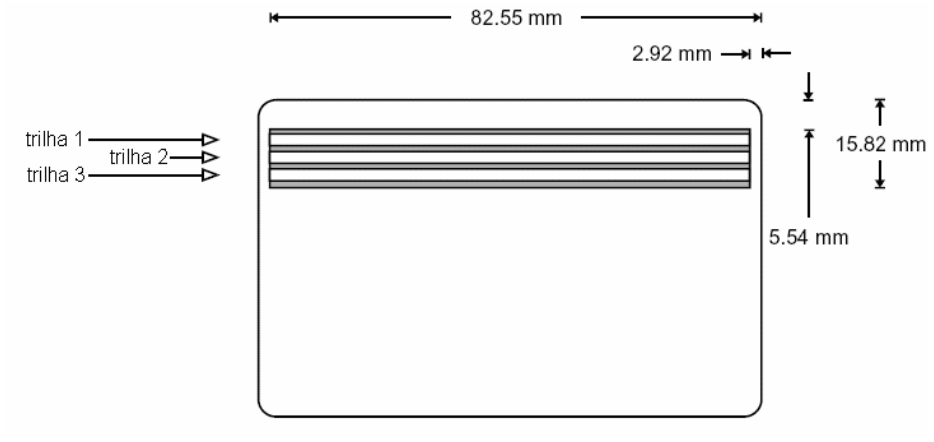

Figura 2.17 – Posição das trilhas num cartão magnético norma ISO7811 (RANKL; EFFING, 2002).

Característica	Trilha 1	Trilha 2	Trilha 3
Quantidade de dados	máximo de 79 caracteres	máximo de 40 caracteres	máximo de 107 caracteres
Tipo de dados	6-bit alfanumérico	4-bit BCD	4-bit BCD
Densidade dos dados	210 bpi (8,3bit/mm)	75bpi (3 bit/mm)	210 bpi (8,3 bit/mm)
Escrita	não permitida	não permitida	permitida

Quadro 2.5 – Características padrões das trilhas num cartão magnético norma ISO 7811 (RANKL; EFFING, 2002).

São vantagens desse sistema: poder armazenar informações adicionais além do campo de identidade, ter baixo custo de produção, permitir que os cartões sejam pequenos e finos o suficiente para ser guardado na carteira. São suas maiores desvantagens: desgaste da fita por contato físico; sua susceptibilidade a campos magnéticos, que podem deixar o cartão inoperante e a possibilidade de cópia e regravação dos dados por fraudadores que tenham uma leitora e gravadora de fitas magnéticas.

2.3.2.2. *Smart cards*

As primeiras patentes de *Smart cards* surgiram no fim da década de 60 na Alemanha (RANKL; EFFING, 2002) e logo em seguida no Japão e França. Com o progresso da microeletrônica foi possível integrar processamento, armazenamento e transmissão de dados num único chip de silício de poucos milímetros quadrados. Incorporando esses circuitos num cartão foram criados os *Smart cards*.

Smart cards têm várias vantagens em relação aos cartões magnéticos. As duas principais são: capacidade de memória muito superior (facilmente mais de 256 kbytes) e proteção dos dados contra acesso não-autorizado (criptografia).

Na Figura 2.18 é mostrada a classificação dos *Smart cards* quanto ao tipo de *chip* utilizado e ao método de transmissão.

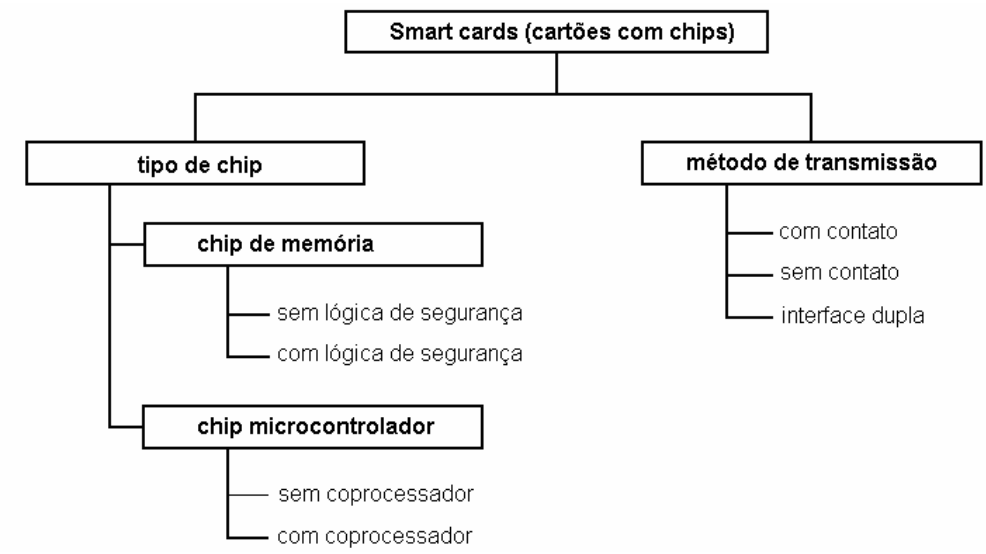

Figura 2.18 – Classificação dos *Smart cards* quanto ao tipo de *chip* utilizado e o método de transmissão (RANKL; EFFING, 2002).

Cartões de memória, Figura 2.19(a), não possuem processador, tendo somente uma lógica de endereçamento e segurança entre a memória e a interface. A vantagem é que são muito mais baratos que os cartões com processamento, Figura

2.19(b). Estes cartões possuem CPU, possibilitando variadas aplicações, inclusive algoritmos de criptografia sofisticados.

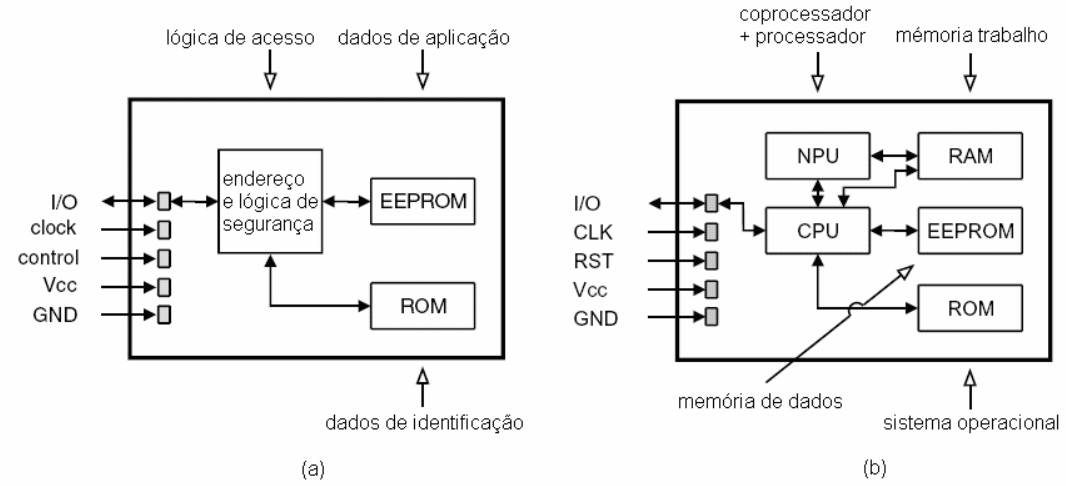

Figura 2.19 – (a) *Smart card* cartão de memória; (b) *Smart card* com processador (RANKL; EFFING, 2002).

A transmissão de dados pode ser feita através de contato físico direto, Figura 2.19, ou através de uma interface sem fio por rádio freqüência, Figura 2.20, muito similar a utilizada em sistemas de RFID. Assim não ocorre desgaste dos contatos.

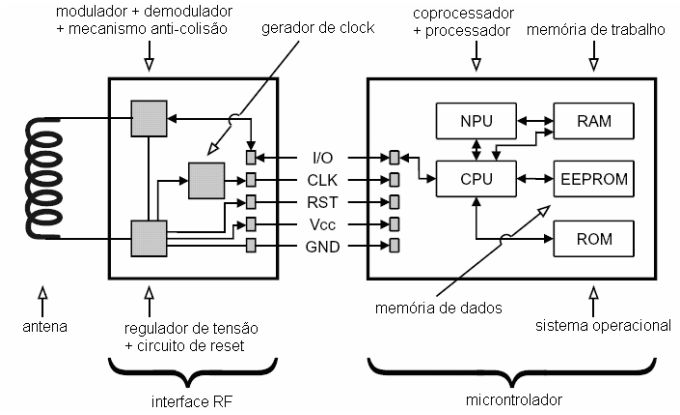

Figura 2.20 – *Smart card* com interface de rádio freqüência (RANKL; EFFING, 2002).

A norma ISO 7816 para *Smart cards* é a norma internacional que define as principais características dos *Smart cards* utilizados hoje.

2.3.3. IDENTIFICAÇÃO POR SISTEMAS ÓTICOS

2.3.3.1. Código de barras

É um tipo de identificação feita através de impressões compostas por barras verticais de larguras diferentes separadas por espaços, formando um conjunto de barras paralelas com significado numérico ou alfa-numérico. A leitura é feita por *scanner* ótico a *laser*. Existem diversos padrões definidos para códigos de barras, sendo mais popular o EAN (*European Article Code*), que codifica através das barras, 13 dígitos numéricos, indicando país de origem, código do fabricante, um identificador do produto e um campo de verificação. A grande vantagem da identificação por código de barras é seu baixíssimo custo, pois qualquer impressora pode imprimir as barras utilizadas.

Código País		Identificador de empresa					Número do item da empresa					CD
4	0	1	2	3	4	5	0	8	1	5	0	9
FRG		Nome da Empresa 1 Nome da rua 80001 Munique					Chocolate Rabbit 100 g					

Figura 2.21 – Campos de dados do padrão EAN e imagem de um código de barras (FINKENZELLER, 2003).

2.3.3.2. Reconhecimento ótico de caractere (OCR),

Esta técnica utiliza caracteres normais do vocabulário para os códigos de identificação. Leitoras óticas varrem a cadeia de caracteres e transformam a imagem em código ASCII ou similar. A grande vantagem desse tipo é que os códigos podem ser

lidos tanto através da leitora ou por leitura normal, possibilitando operação manual em caso de falha da leitora. Não foi um padrão aceito mundialmente, pelo alto custo da leitora em relação a outros meios de identificação.

2.3.4. IDENTIFICAÇÃO BIOMÉTRICA

(YUN, 2003) define biometria como sendo uma abordagem automática de autenticação de identidade de pessoas usando características fisiológicas ou comportamentais individuais únicas, tais como impressão digital, assinatura, face, geometria da mão, íris, retina, voz, DNA, padrões de veias (como nas costas das mãos), padrões térmicos da face (termograma facial), dinâmica de digitação, odores corpóreos e formato da orelha.

As técnicas de biometria dispensam o porte de um identificador especial, pois as características utilizadas são partes do próprio corpo humano, evitando casos de esquecimento de identificador e dificultando fraudes de identidade.

A Figura 2.22 indica etapas de todo processo biométrico.

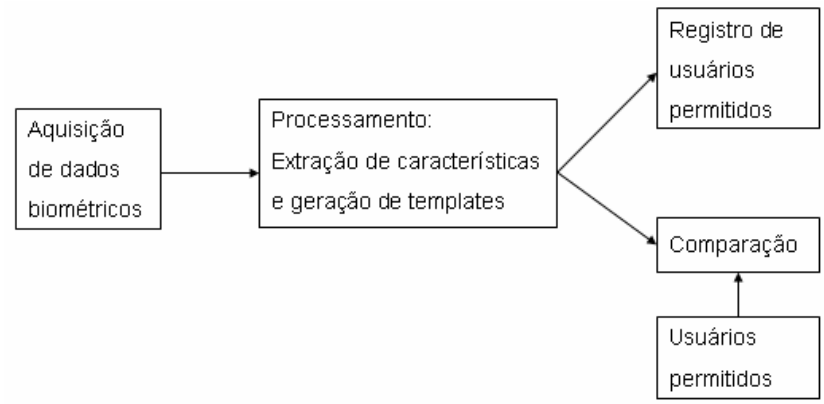

Figura 2.22 – Etapas num processo de identificação biométrica (YUN, 2003).

Os sensores biométricos coletam informações que são processadas para extração de características que irão gerar os *templates* (padrões) utilizados para fazer as

comparações de identidade. Esses *templates* são armazenados com a informação única de identidade da pessoa.

No Quadro 2.6 é mostrada uma comparação entre os principais métodos biométricos.

Tecnologia biométrica	Universalidade	Uniquidade	Perma-nência	Coletabilidade	Perfor-mance	Aceitabili-dade	Imunidade a fraude
Face	A	B	M	A	B	A	B
Impressão digital	M	A	A	M	A	M	A
Geometria da mão	M	M	M	A	M	M	M
Dinâmica de digitação	B	B	B	M	B	M	M
Veias da mão	M	M	M	M	M	M	A
Íris	A	A	A	M	A	B	A
Reitna	A	A	M	B	A	B	A
Assinatura	B	B	B	A	B	A	B
Voz	M	B	B	M	B	A	B
Termograma facial	A	A	B	A	M	A	A
DNA	A	A	A	B	A	B	B

Quadro 2.6 – Comparação qualitativa entre várias tecnologias biométricas (YUN, 2003). Legenda: A=Alta ; M = Média; B = Baixa

Apesar das vantagens citadas, as técnicas biométricas ainda não estão totalmente consolidadas e a fusão destas técnicas pode trazer uma maior confiabilidade na identificação. (JAIN; BOLLE; PANKANTI, 2002) apresenta uma estrutura onde foram utilizados o método de impressão digital junto do reconhecimento de face. Testes experimentais demonstraram que a identidade estabelecida é mais confiável do que a utilização independente dos sistemas.

2.3.5. RFID (*RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION*)

(ROBERTS, 2006) define RFID como um termo genérico para descrever tecnologias que utilizam ondas de rádio para identificar pessoas e objetos automaticamente. Essa identificação é feita associando à pessoa ou ao objeto um *tag* identificador contendo a informação de identificação.

Basicamente um sistema RFID, Figura 2.23, consiste de dois componentes principais:

- Dispositivo de identificação por rádio (*tag*)
- Leitoras de *tags*

Figura 2.23 - Componentes básicos de um sistema de RFID (ROBERTS, 2006).

As leitoras podem ser programadas para operar automaticamente fornecendo as informações dos *tags* a um sistema supervisor, assim que o *tag* for reconhecido em sua região de abrangência de rádio freqüência.

2.3.5.1. *Tags*

Tags RFID são pequenos circuitos eletrônicos que transmitem informação de identificação por sinais de rádio freqüência. Os *tags* são classificados geralmente em passivos e ativos. *Tags* passivos não possuem fonte de energia própria e obtém a energia necessária para comunicar e processar diretamente do campo eletromagné-

tico gerado pela leitora de *tags*, Figura 2.24. *Tags* ativos, por sua vez, utilizam baterias como fonte de energia.

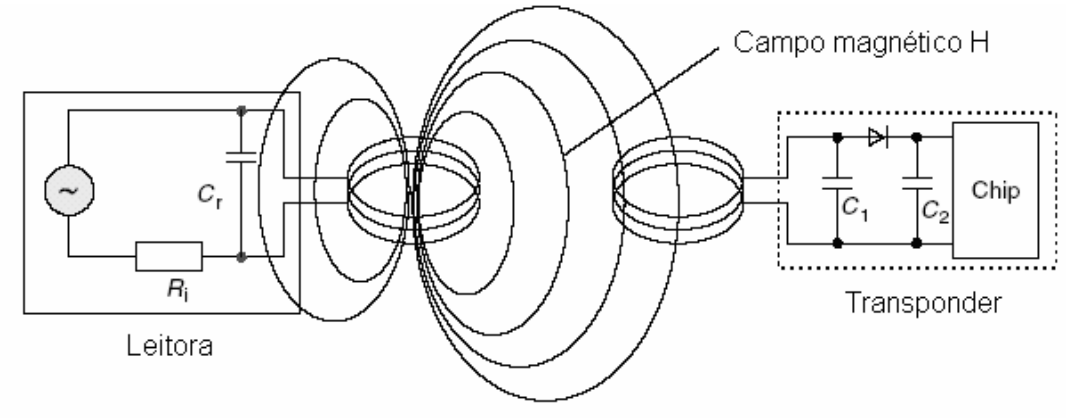

Figura 2.24 –. Alimentação de um *transponder* de acoplamento indutivo pelo campo magnético alternado gerado pela leitora (FINKENZELLER, 2003).

Utilizar um *tag* passivo tem como vantagem o fato de não ter sua vida útil limitada pela bateria, ter dimensões físicas bem menores que os ativos (baterias ocupam um grande volume) e ser mais barato. Os *tags* ativos, por sua vez, conseguem comunicar em distâncias maiores e possuem maior capacidade de memória e processamento. Apesar dessa limitação de vida útil da bateria em *tags* ativos, hoje projetos bem cuidadosos conseguem utilizar uma bateria por até 10 anos, sem necessidade de troca (ROBERTS, 2006).

Um grande esforço mundial vem sendo feito para baixar os custos de produção de *tags* passivos, pois existe uma demanda para sua utilização em diversas aplicações devido às vantagens do RFID em relação aos demais métodos de identificação (maior memória e capacidade de processamento, comunicação à distância). Algumas empresas, como SmartCode, já oferecem *tags* passivos a um custo de US$0,075/unidade em encomendas maiores que um milhão de unidades (ROBERT, 2005). A Figura 2.25 mostra a tendência dos preços para os próximos anos.

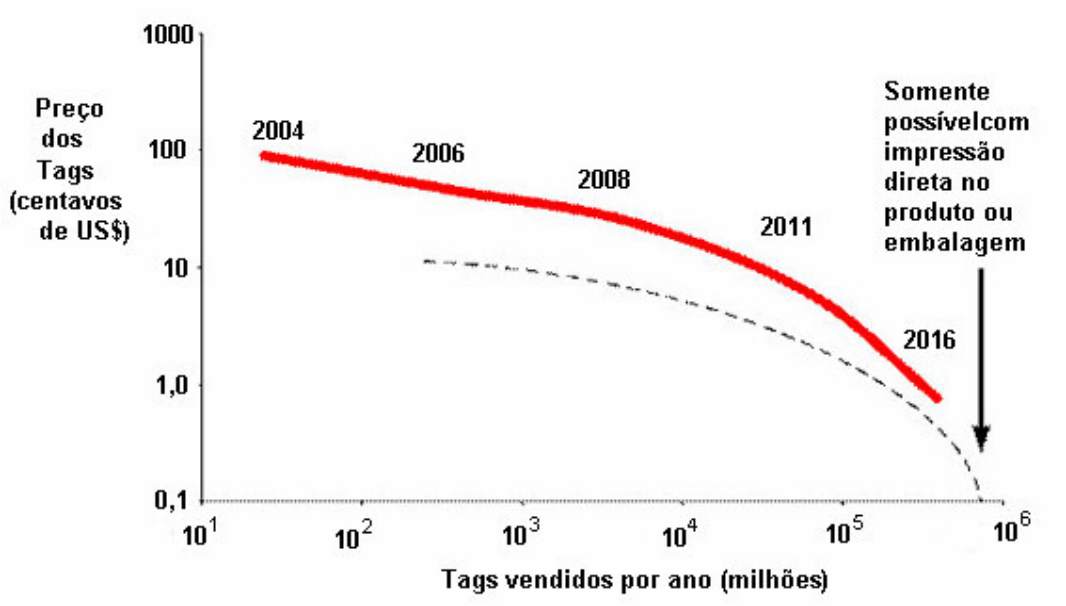

Figura 2.25 – Estimativa de preço e vendas de *tags* nos próximos anos (HARROP, 2006).

Tags são fabricados em diversos tamanhos, formatos e materiais de revestimento, variando o tipo de acordo com a aplicação. Na Figura 2.26 são mostrados alguns tipos de *tags*.

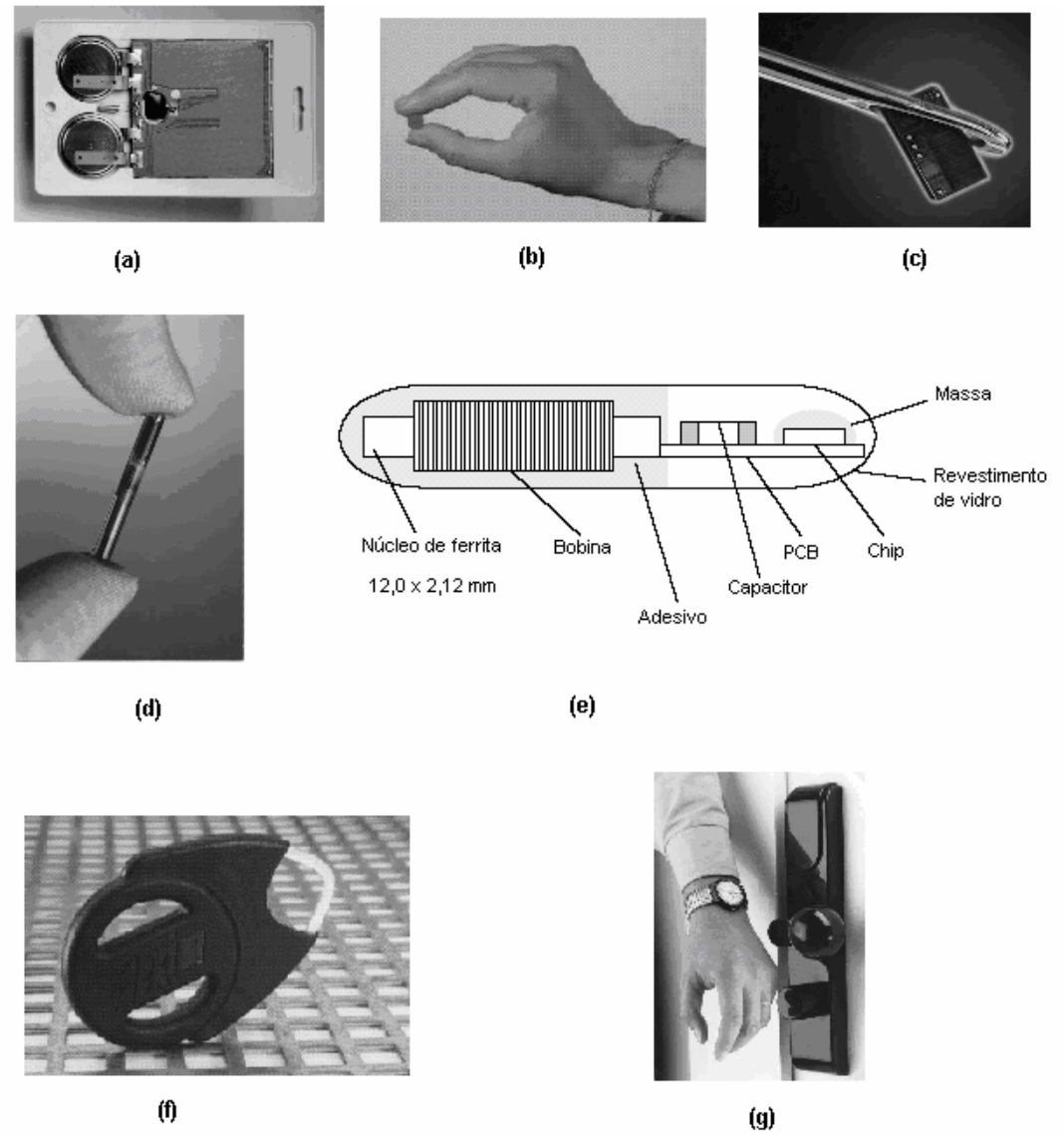

Figura 2.26 – (a) *Tag* ativo; (b) *Tag* utilizado em ferramenta de CNC; (c) *Tag* de baixo custo em uma agulha; (d) *Tag* de vidro utilizado em animais; (e) Detalhes internos do mesmo *tag;* (f) *Tag* utilizado como chave em sistema de acesso; (g) *Tag* integrado ao relógio utilizado para abrir porta (FINKENZELLER, 2003).

2.3.5.2. Freqüências e padrões internacionais

As freqüências utilizadas pelos sistemas de RFID são uma das características mais importantes, pois para cada tipo de aplicação existe uma freqüência mais adequada. Em geral, cada país possui sua própria legislação para utilização de fre-

qüências de rádio, mas existem três faixas de freqüências que foram adotadas mundialmente para serem utilizadas em RFID. No Quadro 2.7 são mostradas as faixas, suas características e principais aplicações.

Faixa de freqüência	Características	Aplicações típicas
Baixa 100-500 kHz	Alcance de leitura pequeno a médio; barato; baixa velocidade de leitura	Controle de acesso; identificação de animais; controle de inventário; alarme de carros
Intermediária 10-15 MHz	Alcance de leitura pequeno a médio; potencialmente barato; velocidade de leitura média	Controle de acesso, *Smart cards*, controle de bibliotecas
Alta 850-950 MHz, 2,4-5,8 GHz	Alcance de leitura alto; alta velocidade de leitura; requer leitura sem obstáculos; cara	Monitoramento de veículos para coleta de pedágio em rodovias, rastreamento de contêineres e *pallets*; rastreamento de veículos

Quadro 2.7 – Faixas de freqüências adotadas mundialmente para aplicações RFID, suas características e aplicações (ROBERTS, 2006).

Geralmente *tags* passivos de baixa freqüência têm um alcance efetivo de até 30 cm, *tags* passivos de alta freqüência em torno de 1m e *tags* passivos de UHF e microondas de 3-5m (ROBERTS, 2006). *Tags* ativos possuem alcance maior, podendo chegar a 100m ou mais. *Tags* que operam em freqüências maiores também são menos susceptíveis a interferências de ruídos eletromagnéticos, como centelhamento de máquinas de soldas e motores elétricos. Por outro lado, em freqüências mais baixas, os sinais de rádio são menos afetados por objetos não metálicos, diminuindo a absorção e permitindo que o sinal atravesse objetos (FINKENZELLER, 2003).

Além das faixas de freqüências globais, foram definidas normas internacionais para aplicações de sistemas RFID. Entre elas podem-se citar por área de aplicação:

- Identificação de animais: ISO 11784, ISO 14223;
- Smart cards sem contato: ISO 10536, ISO 14443;
- Ferramentas e parafusadeiras: ISO 69873;
- Identificação de containeres: ISO10374;
- Sistemas anti-furto para mercadorias: VDI 4470;

- Gerenciamento de itens: conjunto de normas ISO 18000.

As normas definem características físicas, protocolos de transmissão, freqüências de rádio, formatação de dados, procedimentos de testes, entre outras características comuns nesses sistemas.

2.3.5.3. Aplicações do RFID

O sistema RFID surgiu com a principal finalidade de fornecer identificação para ítens ou pessoas sem a necessidade do contato físico ou visual da leitora com o *tag*. É o sistema de identificação com o maior crescimento nos últimos anos e com o maior potencial de aplicação nas mais diversas áreas. A seguir são citadas algumas aplicações que utilizam o sistema de RFID:

- Identificação de mercadorias;
- Identificação de pessoas e controle de acesso;
- Identificação de animais;
- Identificação de livros em bibliotecas;
- Rastreamento postal;
- Gerenciamento de bagagens aéreas;
- Identificação de ferramentas no magazine de CNCs;
- Sistemas de alarmes de veículos;
- Sistema anti-falsificação de dinheiro, passaportes;
- Sistemas de pedágio automático;
- EAS (segurança de mercadorias);
- Smart cards e operações financeiras;
- Identificação com sensoriamento (Figura 2.27).

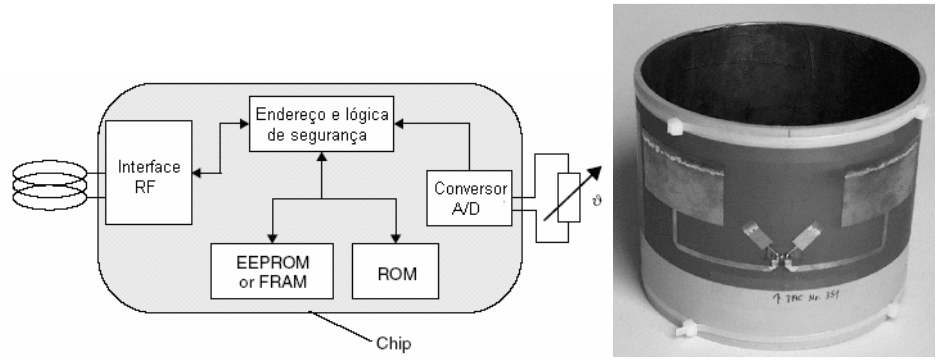

Figura 2.27 – Medição de torque em eixo rotativo utilizando *tag* com sensor (FINKENZELLER, 2003).

Todas essas características reunidas (baixo preço, comunicação sem fio, dimensões reduzidas, alta capacidade de processamento) numa única tecnologia tornam os *tags,* ao mesmo tempo, atraentes e temidos. Atraentes por poderem ser instalados em qualquer objeto, desde roupas a alimentos de supermercados. Temidos, pois, a privacidade das pessoas pode ser diminuída devendo esta ser uma questão bem discutida pelos consumidores e grupos de discussão sobre privacidade (STANDFORD, 2003).

2.3.6. QUADRO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE IDENTIFICAÇÃO

O Quadro 2.8 sintetiza diversas características de sistemas de identificação automáticos.

Parâmetros	Código de barras	OCR	Reconhecimento de voz	Biometria	*Smart card*	RFID
Típica capacidade de dados (bytes)	1-100	1-100	-	-	16-64 k	16-64 k
Densidade de dados	Baixa	Baixa	Alta	Alta	Muito alta	Muito alta
Leitura por máquina	Boa	Boa	Cara	Cara	Boa	Boa
Leitura por pessoas	Limitada	Simples	Simples	Difícil	Impossível	Impossível
Influencia de sujeira	Muito alta	Muito alta	-	-	Possível (contatos)	Sem influência
Influência de cobertura ótica	Falha total	Falha total	-	Possível	-	Sem influência
Influência de direção e posição	Baixa	Baixa	-	-	Unidirecional	Sem influência
Degradação/ uso	Limitada	Limitada	-	-	Contatos	Não degrada
Custos de compra	Muito baixo	Médio	Muito alto	Muito alto	Baixo	Médio
Custo de manutenção	Baixo	Baixa	Nenhum	Nenhum	Médio (contatos)	Nenhum
Cópia/ modificação não autorizada	Leve	Leve	Possível (fita de áudio)	Impossível	Impossível	Impossível
Velocidade de leitura	Baixa ~4s	Baixa ~3s	Muito baixa > 5 s	Muito baixa > 5-10s	Baixa ~ 4s	Muito rápida ~0,5s
Máxima distância de comunicação	0-50cm	< 1 cm	0-50 cm	Contato direto	Contato direto	0-5m
Auto-interrogativo	Possível/ difícil	Impossível	Impossível	Possível	Possível	Possível

Quadro 2.8 – Características de sistemas de identificação automáticos.

2.4. SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE PESSOAS E OBJETOS

A determinação da posição de pessoas e objetos é uma das informações mais relevantes em ambientes pervasivos. Saber o histórico da posição permite deduzir contextos, prever eventos, criar sistemas automáticos de monitoramento e auxiliar atividades de usuários nos ambientes.

(HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001) descrevem diversas técnicas utilizadas para localizar pessoas ou objetos em aplicações de computação ubíqua. Eles destacam que as técnicas de localização podem ser agrupadas em 3 grupos maiores:

- Triangulação – pode ser feita por *lateração*, utilizando-se múltiplas medições de distâncias entre o objeto de posição desconhecida e pontos de posição conhecidas, ou por *angulação*, na qual medições de ângulo são feitas entre o objeto de posição desconhecida e pontos de posição conhecida. Três técnicas são mais utilizadas para medição de distância na lateração: *medição direta* (utilizando um braço robótico com uma trena, por exemplo), *tempo de vôo* (medindo o tempo que um sinal leva para viajar entre dois pontos com velocidade conhecida) e *atenuação* (baseado no fato que um sinal tem a sua intensidade diminuída à medida que se afasta da fonte emissora do sinal).
- Medições de proximidade – a posição é determinada assumindo que sua posição é a mesma do objeto de posição conhecida mais próximo. Assim numa malha de pontos com posições conhecidas, a posição do objeto desconhecido é aproximada pela posição do ponto conhecido mais próximo a ele.
- Análise de cena – examina uma vista de um ponto particular favorável. Assim essa cena pode ser comparada a um conjunto de cenas num banco de dados para determinar sua posição. A cena pode ser uma imagem, ou um de sinal

rádio (por exemplo, sistema RADAR da Microsoft). Duas formas de análise de cenas são mais utilizadas: a *estática* extrai objetos da cena e tenta localizar o objeto em regiões mapeadas da cena; a *diferencial* compara as diferenças em cenas sucessivas para encontrar a posição de um objeto.

Outra técnica, citada em (LEMIEUX; LUTFIYYA, 2006), é a *navegação inercial*. Nesta técnica, a posição atual de um objeto pode ser estimada sabendo-se sua posição inicial e medindo-se distância percorrida pelo objeto em cada direção do movimento subseqüente, fornecendo uma série de vetores de deslocamento. A somatória desses vetores fornece a posição final.

No Quadro 2.9 são identificadas várias tecnologias utilizadas em localização de objetos, junto de suas características.

Tecnologia	Técnica	Acuracidade	Escala	Custo	Limitações
GPS	Triangulação - Tempo de vôo ondas de rádio	1-5m (95-99%)	24 satélites Global	Alto custo de infra-estrutura, US$100 receptor	Não funciona em ambientes fechados
Active Badges	Proximidade de células difusas de infravermelho	Tamanho do recinto (região da célula)	1 base por recinto, 10s por base por badge	Custos administrativos, *tags* e bases baratas	Luz do sol e luz fluorescente interferem no infravermelho
Active Bats	Triangulação - tempo de vôo ultra-som	9 cm (95%)	1 base por 10 ft^2, 25 leituras por segundo	Custos administrativos, *tags* e sensores baratos	Necessita de um grid de sensores montado
MotionStar	Análise de cena, triangulação	1mm 1ms, 0,1° (quase 100%)	Controlador por cena, 108 sensores por cena	Controlador por cena, *hardware* caro	Instalação precisa, preso ao controlador
Cricket	Proximidade, triangulação	Regiões de 4 x 4 pés (~100%)	1 beacon por 16 ft^2	US$ 10 *beacons* e receptores	Sem central de gerenciamento
MSN RADAR	802.11 RF análise de cena e triangulação	3-4,3m (50%)	3 bases por andar	Instalação da rede 802.11, US$ 100 por placa sem fio	Requer placa de rede sem fio
PinPoint 3D	Triangulação RF	1-3m	Várias bases por construção	Infra-estrutura, instalação, *hardware* caro	Proprietário, interferência rede 802.11
Transceptores de avalanche	Força do sinal de rádio, proximidade	Variável, 60-80m	1 transceptor por pessoa	~US$200 por transceptor	Pequeno alcance, atenuação do sinal de rádio
Easy Living	Visão, triangulação	Variável	3 câmeras por recinto pequeno	Demanda de processamento, câmeras	Ubíqua, câmeras públicas
SmartFloor	Proximidade contato físico	Distância dos sensores de pressão (100%)	*Grid* completo de sensores por pavimento	Instalação, criação dos bancos de dados de treinamento	Pode falhar com muitas pessoas
RFID	Proximidade	Alcance das leitoras	*Grid* de leitoras ou *tags*	Instalação, custo de *hardware* variável	Determinação da posição das leitoras fixas
RFID Troley Scan	Triangulação	0,5m	*Tags* e leitora RFID especial. Alcance 40m	Alto custo da leitora	Instalação e posicionamento das antenas receptoras

Quadro 2.9 – Tecnologias utilizadas para localização de pessoas e objetos (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001).

2.4.1. SISTEMAS POR SATÉLITES

2.4.1.1. GPS

Desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA, o Sistema de Posicionamento Global (GPS) utiliza satélites para determinar a posição absoluta de um receptor em qualquer lugar do planeta em relação ao sistema de coordenadas terrestres, WGS84, desde que o receptor tenha livre visibilidade para o céu. O sistema GPS é composto por 3 segmentos Figura 2.28 (SEGANTINE, 2005):

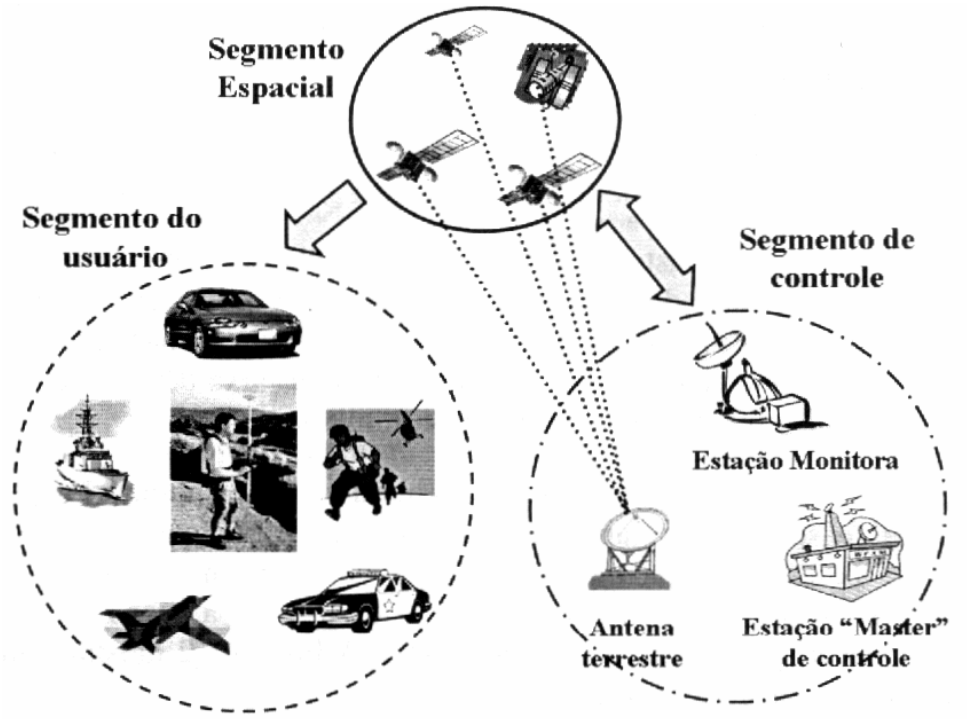

Figura 2.28 – Segmentos do sistema GPS: espacial, controle terrestre, usuário (SEGANTINE, 2005).

O segmento espacial é composto pelos satélites ativos que emitem os sinais (efemérides). A constelação de satélites foi projetada para operar com 24 satélites

ativos e alguns reservas em órbita. Eles orbitam a Terra a uma altitude média de 20200km de forma a cobrir o planeta inteiro 24 horas por dia.

O segmento de controle terrestre é composto pelas estações de rastreamento para fins de controle do tempo e predição das órbitas dos satélites. Os receptores de GPS contêm um relógio interno que deve estar sincronizado com os relógios atômicos dos satélites e estes por sua vez, devem estar sincronizados entre si. A sincronização do tempo GPS é fundamental para uma boa precisão do sistema.

O segmento do usuário é composto pelos usuários, que em suas ações utilizam vários tipos de receptor.

O método de determinação da posição de um receptor GPS é por triangulação (SEGANTINE, 2005). É necessário que um receptor receba sinais de pelo menos 4 satélites para conseguir determinar sua posição 3D. Cada satélite envia para os receptores uma mensagem contendo as efemérides (posição do satélite num determinado instante e hora de transmissão da mensagem), correções do relógio do satélite, órbitas dos satélites e outras correções de dados (SEGANTINE, 2005). Assim o receptor consegue determinar suas distâncias aos satélites visíveis e sabendo-se a posição deles, por triangulação, determina-se a posição do receptor.

A precisão de posicionamento dos sinais emitidos dos satélites varia de 3 a 15m no método de posicionamento de navegação ou instantâneo (SEGANTINE, 2005). Métodos relativos e diferencias permitem precisão de posicionamento da ordem de centímetros, mas necessitam de dois receptores operando em conjunto.

Uma limitação do sistema GPS é o fato de o sinal dos satélites não ultrapassar paredes e florestas densas, limitando sua aplicação a ambientes com boa visibilidade do céu.

2.4.1.2. GLONASS

Sistema russo de posicionamento via satélite, similar ao sistema americano. Desenvolvido praticamente ao mesmo tempo do GPS, está em operação desde 1982, quando foi lançado o primeiro satélite. Em 1993 o sistema foi declarado operacional e apto a trabalhar com segurança (SEGANTINE, 2005). Na prática é um sistema alternativo ao do GPS e a operação em conjunto com o sistema GPS permite melhorar a precisão de posicionamento. No Quadro 2.10 são apresentadas as principais características do GLONASS e do GPS.

2.4.1.3. GALILEU

O sistema Galileu está sendo desenvolvido pela União Européia com a principal finalidade de diminuir a dependência dos países europeus ao sistema GPS e ao GLONASS. Ele tem características semelhantes e será totalmente compatível com o GPS e o GLONASS. Sua constelação terá 27 satélites ativos e 3 reservas. As precisões a serem oferecidas pelo sistema são da ordem de 4 metros na horizontal, 8 metros na vertical com 95% de nível de confiança e os receptores serão capazes de captarem pelo menos 4 freqüências (SEGANTINE, 2005).

	GPS	GLONASS
Constelação planejada	24 ativos e reservas em órbita	21 +3 ativos e reservas em órbita
Número de planos orbitais	6	3
Número de satélites por plano orbital	4	8
Inclinação orbital	63° e 55°	64,8°
Referência geodésica	WGS84	PZ90
Altitude orbital	~20200 km	~19100 km
Representação de efemérides	Elementos keplerianos e coeficiente de interpolação	9 parâmetros no sistema cartesiano ECEF
Período orbital (tempo sideral)	11h 57' 58,3''	11h 15'
Repetição de órbita	1 dia (2 órbitas)	8 dias (17 órbitas)
Primeiro lançamento	Fevereiro 1978	Outubro 1982
Foguetes utilizados	Atlas F, Delta II	SL-12 Proton
Local de lançamento	Vandenberg, C. Kennedy	Tyuratam
Métodos de acessos aos sinais	Acesso múltiplo de divisão de código	Acesso múltiplo de divisão de freqüência
Banda de freqüência L1	1575 MHz	1602-1615 MHz
Banda de freqüência L2	1228 MHz	1246-1256 MHz
Intervalo de repetição do código C/A	1023 bits	511 bits
Largura de banda código C/A	2 MHz	1 MHz
Emissão de dados	50 bits/s	50 bits/s
Referência para o tempo	Sistema de tempo GPS	Sistema de tempo GLONASS
Precisão de posicionamento civil - plano horizontal	5-15 m	~ 100 m

Quadro 2.10 – Comparação entre os sistemas GPS e GLONASS (SEGANTINE, 2005).

2.4.1.4. *Indoor* GPS (GPS e celular)

(DIGGELEN, 2002) descreve uma técnica que combina o uso do GPS junto da rede urbana de telefones celular para permitir a determinação da posição absoluta em ambientes fechados sem visibilidade livre para o céu, condição em que o de GPS não opera adequadamente. A técnica consiste da utilização de *A-GPS* (*Assistive GPS*) e da técnica de "correlação massiva paralela" para criar um GPS de alta sensibilidade. Tipicamente o GPS normal consegue captar um sinal do satélite até

um limite de -130 dBm SNR (*Sinal Noise Relation*). Em ambientes internos essa relação chega a decair -30dBm, indo para -160dBm ou menos. A técnica de A-GPS consiste em informar ao receptor dados de órbitas dos satélites com até dez dias de antecedência. Sabendo-se as posições dos satélites previamente (bases de rastreamento espalhadas pelo mundo fazem esta previsão), é possível diminuir o tempo de busca dos códigos ou intensificar a busca de códigos de uma freqüência, melhorando a sensibilidade em 10 dBm. A informação da posição dos satélites pode ser obtida através de uma arquitetura baseada em redes de telefones celulares que irão fornecer o conjunto de informações de posição dos satélites para o receptor GPS. Junto desta informação, a técnica de “correlação massiva paralela” permite que se faça a busca paralela de códigos GPS provenientes dos satélites em alta velocidade, levando a aumentar a sensibilidade em 20 à 30dBm.

Com essa técnica (DIGGELEN, 2002) testou a eficiência da aquisição de posição em várias situações. Em *canyons* urbanos profundos (avenidas cercadas de arranha-céus), o sistema detectou a posição com sinais até 20 dBm mais fracos. Dentro de porta-malas de veículos em movimento, o sistema conseguiu detectar a posição em 250ms a partir da hora que foi ligado. Ligando o GPS dentro de veículos em estacionamentos cobertos, o sinal tinha um SNR de -137 dBm no primeiro andar abaixo da cobertura e, mesmo assim, a posição foi inferida em 250ms. Quatro andares abaixo da cobertura o sistema levou 5s para adquirir os sinais a -157dBm e as posições foram calculadas corretamente. Em andares próximos ao térreo o sistema começou a ter dificuldade de adquirir os sinais dos satélites. Um *shopping* foi o ambiente mais difícil para se adquirir o sinal levando vários segundos para estabelecer a primeira posição.

2.4.2. SISTEMAS POR INFRAVERMELHO

2.4.2.1. Active Badges

Desenvolvido pela AT&T Cambrigde este sistema utiliza a técnica de proximidade utilizando infravermelho. Cada pessoa que utiliza o sistema carrega consigo um transmissor infravermelho emitindo a cada 10s um identificador global (GUID), que é lido por sensores infravermelhos localizados nas paredes das salas de um prédio. Assim, sua posição é determinada pelo método de proximidade. Geralmente se utiliza um sensor infravermelho por sala, permitindo precisão de posicionamento por ambiente. Um servidor central coleta os dados de GUID do sensor para serem utilizados por outras aplicações (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001).

2.4.3. SISTEMAS POR ULTRA-SOM

2.4.3.1. Active Bats

Posteriormente ao Active Badges, a AT&T desenvolveu o *Active Bats*, que é um sistema que utiliza ultra-som para realizar lateração, obtendo um posicionamento mais acurado que o Active Badges. Usuários ou objetos portam os *Bats* contendo um receptor de RF e um emissor de ultra-som. Assim, quando é necessário saber a posição de uma pessoa, um controlador envia um sinal de RF para indicar qual *Bat* deve responder com o sinal de ultra-som. Ao mesmo tempo, receptores de ultra-som instalados nas paredes reiniciam sua contagem de tempo para medir o tempo que o

sinal de ultra-som do *Bat* leva para alcançá-los. Sabendo-se o tempo que o som levou para alcançar os receptores e a velocidade do som, é deduzida a distância do usuário aos receptores e por lateração sua posição é calculada. Cada *Bat* também tem um sistema de GUID (*Global User Identification*) para endereçamento e reconhecimento. Este sistema tem uma precisão de 9 cm em 95% das medições. A desvantagem deste sistema é que uma grande infra-estrutura precisa ser instalada para a operação do sistema, principalmente em ambientes maiores e com várias salas (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001).

2.4.3.2. Cricket

Utiliza ultra-som da mesma forma que o Active Bats para medição de distância, e RF para sinais de controle, mas ao invés dos receptores estarem fixos na parede, eles ficam nos objetos a serem localizados e os transmissores de ultra-som ficam fixos. Assim a triangulação é feita pelos próprios receptores nos objetos, permitindo uma maior descentralização e privacidade da informação (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001).

2.4.4. SISTEMAS POR CAMPO MAGNÉTICO

2.4.4.1. MotionStar

Este sistema é utilizado principalmente quando se necessita de alta precisão no posicionamento em curtas distâncias. Utiliza uma antena fixa que transmite um campo magnético axial. Para determinar a posição e direção, o receptor com uma

antena presa ao objeto a ser localizado, mede o campo emitido em três direções ortogonais combinado com o campo magnético terrestre. Assim a precisão de posicionamento obtida chega a ordem de 1 mm de resolução espacial e 0,1^{o} na orientação. Os transmissores necessitam estar a uma distância de 1 a 3 m dos sensores e a presença de objetos metálicos degrada a acuracidade do sistema (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001).

2.4.5. SISTEMAS POR RF (RADIO FREQUÊNCIA)

2.4.5.1. RADAR

Desenvolvido pela Microsoft, este sistema é baseado em sinais de rádio emitidos por objetos com uma placa IEEE 802.11 (*wireless lan*) de rede sem fio. O sistema mede na estação base a força do sinal e a relação sinal/ruído emitido pelos dispositivos, e então calcula a posição 2D do objeto em relação ao edifício pelo método de lateração ou por análise de cena (comparando com forças dos sinais de vários locais e orientações do edifício armazenadas num banco de dados). Por lateração, a precisão fica em torno de 4,3m metade do tempo e, por análise de cena a precisão é de 3m na mesma probabilidade. A grande vantagem deste sistema é que utiliza a infra-estrutura já instalada de rede IEEE 802.11 (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001).

2.4.5.2. PinPoint 3D

É similar ao sistema RADAR, mas os *tags* e as estações são com tecnologia proprietária. Utiliza medição de tempo de vôo do sinal de rádio para definir a posição por triangulação. Permite alcançar precisão de 1 a 3m (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001).

2.4.5.3. Transceptores de avalanche

Esses transceptores são utilizados em regiões com risco de avalanche de neve, geralmente estações de esqui. Esquiadores utilizam transceptores que emitem um sinal de rádio num raio de 60-80m, permitindo que uma equipe de resgate, utilizando computadores portáteis, os localizem caso estejam soterrados sob a neve (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001).

2.4.5.4. Sistemas de RFID (Radio Frequency Identification)

Sistemas de RFID têm sido cada vez mais utilizados em sistemas de localização devido principalmente ao baixo custo de expansão (*tags* de RFID estão cada vez mais baratos) e o fato de o mesmo sistema permitir fazer identificação, armazenamento de dados e sensoriamento (*tags* podem ter memória e sensores). Duas são as técnicas mais utilizadas de localização utilizando sistemas de RFID são: a técnica de localização por proximidade e a por métodos de triangulação.

A técnica de proximidade é feita com os *tags* fixos (a posição dos *tags* são conhecidas) ou com *tags* móveis (a posição da leitora é conhecida) (LEMIEUX; LUTFIYYA, 2006). *Tags* móveis, Figura 2.29, são utilizados quando o sistema de

localização deve ser centralizado e se deseja rastrear muitos objetos. Em cada objeto é preso um *tag* que move com o objeto. Sempre que um *tag* passar pela área de leitura de uma leitora ele será localizado e sua posição pode ser aproximada pela posição da leitora.

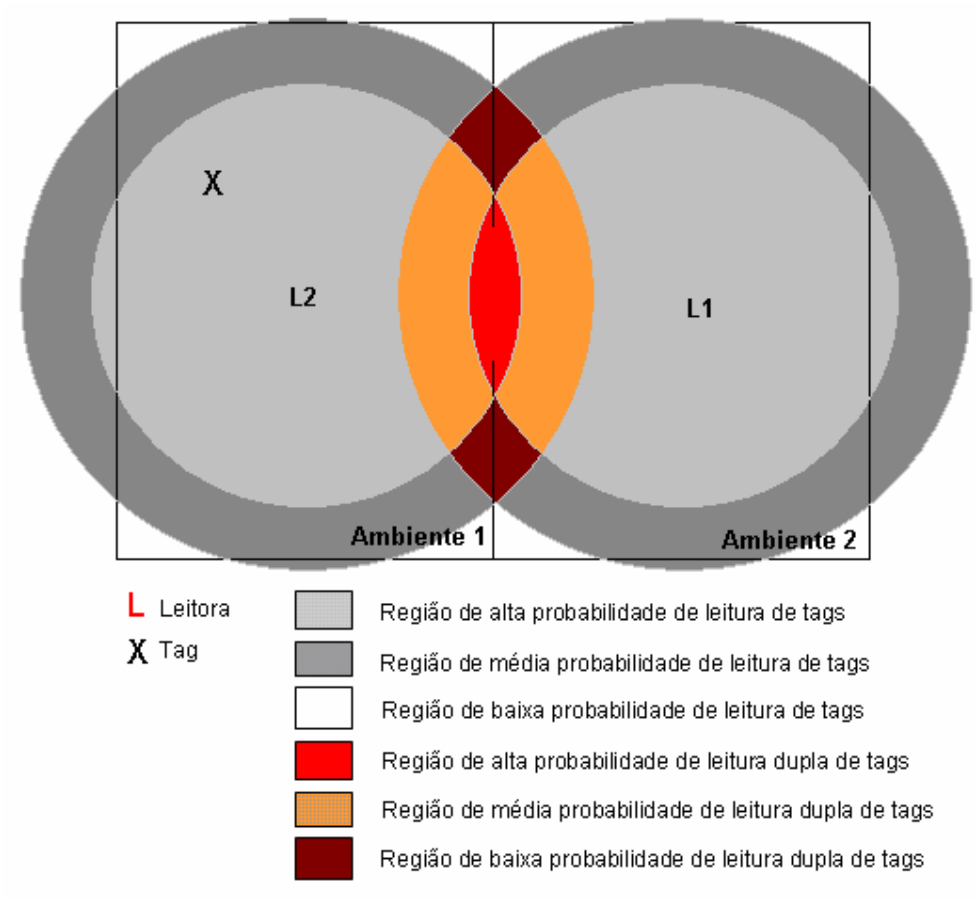

Figura 2.29 – Localização pelo método de proximidade com *tags* móveis.

À medida que os *tags* se afastam das leitoras ocorre atenuação do sinal e a probabilidade de uma leitura bem sucedida diminui. Se os *tags* estiverem fora destas regiões, a probabilidade de leitura é bastante diminuída. Quando duas leitoras operarem em regiões adjacentes pode ocorrer a sobreposição das áreas de leitura. Nesse caso, existirá uma região de interseção onde um *tag* pode ser lido ao mesmo tempo por mais de uma leitora, condição em que um sistema de localização por pro-

ximidade pode considerar que a posição atual do *tag* é média entre as posições conhecidas das duas leitoras.

Tags fixos, Figura 2.30, são utilizados quando se deseja uma maior precisão de posicionamento, dividindo a área do ambiente em várias subáreas, cada um com um *tag*. Como os *tags* chegam a ser milhares de vezes mais baratos que suas leitoras é vantajoso fixar os *tags* ao invés de leitoras quando se requer maior precisão. à medida que a leitora se desloca pelas subáreas, o(s) *tag*(s) em seu campo de alcance são lidos e uma simples consulta em uma tabela permite determinar a posição da leitora.

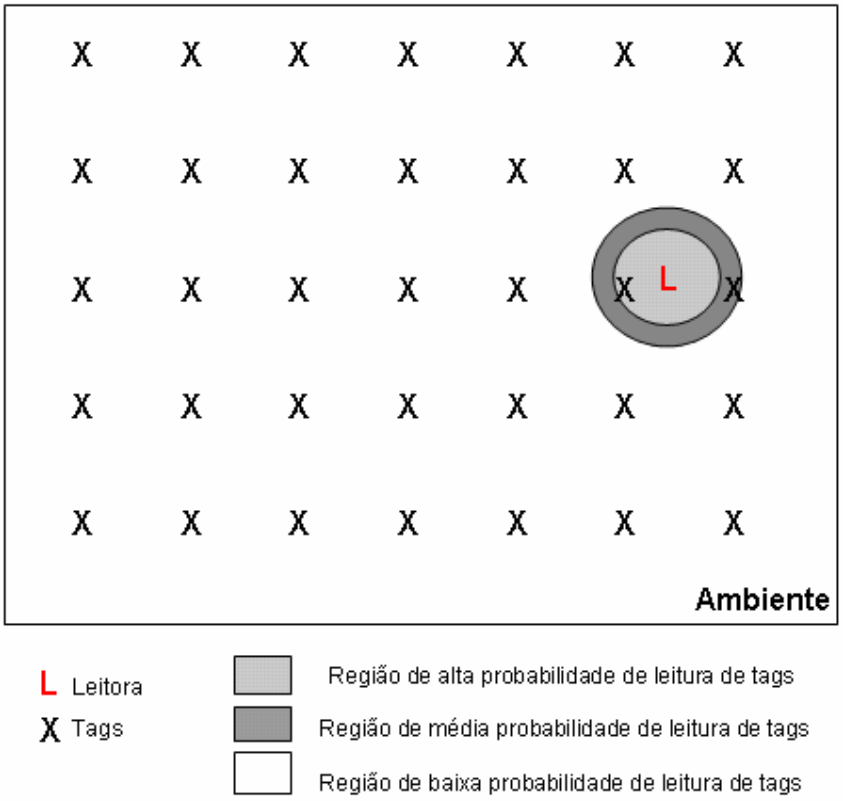

Figura 2.30 – Localização de *tags* pelo método de proximidade com *tags* fixos.

(PHILIPOSE et al., 2004) desenvolveram um sistema com *tags* fixos. Neste, centenas de *tags* com alcance de poucos centímetros foram colados em eletrodomésticos e móveis de uma casa. Os usuários da casa usavam uma luva que continha

uma leitora de *tags*, Figura 2.31. À medida que o usuário se aproximava dos objetos com os *tags*, a leitora identificava sua posição, armazenava o ID do tag e esses dados eram utilizados para prever a atividade exercida pelo usuário.

Figura 2.31 – Luva com leitora de RFID utilizada para identificação de posição (PHILIPOSE et al., 2004)

Outra forma de determinar a posição de *tags* de RFID foi desenvolvida pela empresa sul africana Troley Scan. Ele utilizaou um método que combina medição de distância e angulação chamado RFID-Radar. Neste método, uma leitora de *tags* com três antenas fixas determina a posição 2D de até 50 *tags* móveis passivos. Segunda a Troley, o sistema fornece precisão de 0,5m de posicionamento com alcance de até 40m com *tags* disponíveis no mercado. O custo do *kit* com uma leitora, antenas e *tags* para teste em fevereiro de 2007 era por volta de US$2000 (TROLLEYSCAN, 2007).

2.4.6. SISTEMAS DE VISÃO COMPUTACIONAL

Com a diminuição dos custos de câmeras e o aumento da capacidade de processamento dos computadores a partir da década de 90, centenas de grupos de

pesquisa em todo o mundo aprofundaram as pesquisas em sistemas de visão computacional aplicada à localização de objetos e pessoas. A grande vantagem da utilização de câmeras é permitir fazer a localização sem precisar que o usuário transporte algum tipo de transceptor, tornando o sistema de localização mais ubíquo. Além disso, várias outras aplicações podem usufruir da mesma infra-estrutura, tal como identificação de pessoas, reconhecimento de gestos corporais, sistemas de segurança, etc.

Apesar dos recentes avanços, problemas de oclusão de imagem, variabilidade de luminosidade ambiente e demanda por alto processamento são os maiores obstáculos dos sistemas de localização por visão computacional.

2.4.6.1. Easyliving

O Easyliving (BRUMITT et al., 2000) é um projeto desenvolvido pela Microsoft com o objetivo de desenvolver arquiteturas e tecnologias para ambientes ricos em tecnologias. Um dos componentes desse projeto é o sistema de localização de pessoas baseado em visão computacional. O sistema desenvolvido utiliza dois conjuntos de câmeras estéreo, Figura 2.32, para diminuir as chances de uma pessoa ter sua imagem obstruída de alguma forma. O *software* de processamento quebra a imagem das pessoas em bolhas (*blobs*), uma para cada parte do corpo (cabeça, braços, pernas). Essas bolhas são subtraídas da imagem 3D do ambiente e assim a pessoa é identificada. O *software* usado para localização das pessoas consegue distinguir as imagens geradas pela tela de um computador como não sendo objetos reais. Ele também consegue separar uma pessoa de um sofá quando esta se senta. Existe uma área, geralmente na entrada da sala, onde instâncias de pessoas são criadas e destruídas quando elas entram e saem da sala. O sistema em funciona-

mento consegue atualizar a posição das pessoas numa freqüência de 3,5Hz e é capaz de rastrear mais de uma pessoa utilizando o ambiente ao mesmo tempo. Quando o *software* perde a identidade da pessoa sendo rastreada, ele utiliza histogramas armazenados para reidentificá-las.

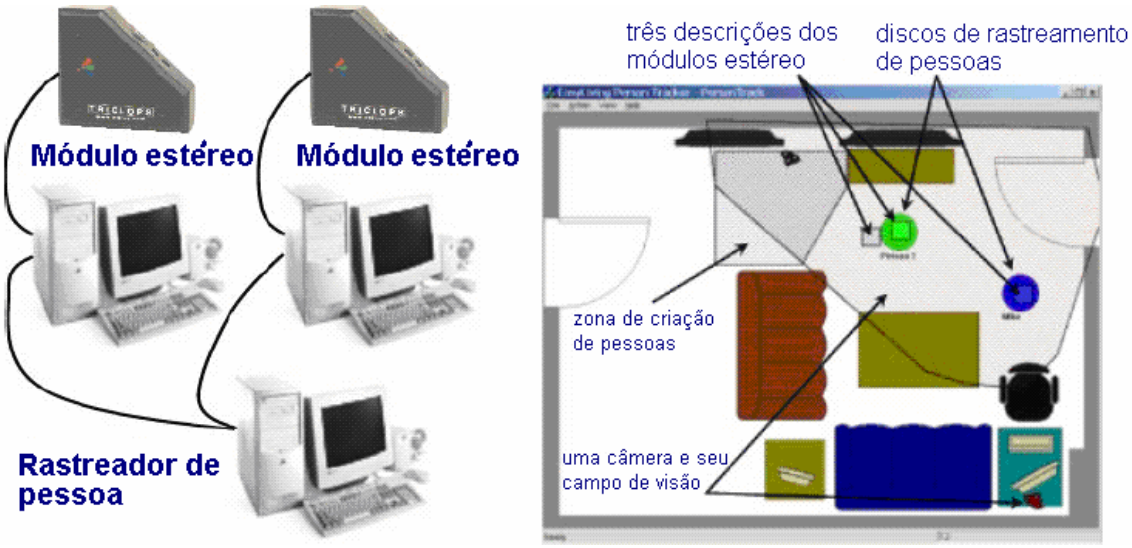

Figura 2.32 – Sistema de rastreamento de pessoas por câmeras do EASYLIVING (BRUMITT et al., 2000).

2.4.6.2. Mit

Em (AOKI; SCHIELE; PENTLAND, 2000) é descrito um sistema de localização baseado em uma câmera e um computador portátil (modelo *Libreto PC*) com capacidade de reconhecer locais previamente visitados. Um seqüência de treinamento automática é feita para construir um dicionário de localidades que são usadas em comparações futuras de posicionamento. Uma câmera montada num boné, Figura 2.33, permite que uma pessoa transmita em tempo real a imagem para o computador portátil que realiza o algoritmo de identificação. O dicionário de localidades é construído armazenando um histograma cromático de cada quadro de imagem enviado pela câmera no processo de treinamento. O reconhecimento é feito compa-

rando o histograma da seqüência de quadros da localidade atual com os do dicionário de localidades. Quando uma trajetória é suficientemente similar, é identificado que aquele local é conhecido.

Figura 2.33 – Pequena câmera portátil utilizada para sistema de localização automático (AOKI; SCHIELE; PENTLAND, 2000).

2.4.7. SENSORES DE PRESSÃO NO CHÃO

2.4.7.1. Smartfloor

Nome dado ao sistema de localização por proximidade desenvolvido pela Georgia Tech. Nesse sistema, sensores de pressão são instalados no chão para detectar os passos das pessoas que andam sobre eles. O sistema, então, utiliza um algoritmo de rastreamento de posição e reconhecimento do pedestre. A grande vantagem desse sistema é o usuário não precisar portar nenhum equipamento para fazer a

localização. Por outro lado, a dificuldade de expandir o sistema, devido a alta quantidade de sensores sobre o chão, limita sua aplicação.

2.4.8. FUSÃO DE SISTEMAS

Observando-se as características dos sistemas mostrados neste capítulo observa-se que todos apresentam limitações que os impedem de os tornarem um método global de determinação de posição para aplicações ubíquas. Assim, para tentar utilizar as vantagens de cada sistema muitas vezes é utilizada a fusão de sistemas. Nela, diferentes técnicas são associadas, permitindo minimizar as desvantagens de cada uma.

2.4.8.1. Sensores de pressão no chão e RFID

No Departamento de Mecano-informática da Universidade de Tóquio, Japão, foi desenvolvido um sistema de rastreamento da posição de várias pessoas utilizando sensores de pressão distribuídos no chão, integrado ao RFID (MORI et al., 2004). Os dados de pressão são utilizados para detectar áreas que contenham pessoas e rastrear seus movimentos. O sistema de RFID é utilizado para associar um ID (IDentificador) à área sob pressão. Resultados experimentais mostraram que o sistema é capaz de rastrear mais de três pessoas numa situação de vida cotidiana (MORI et al., 2004).

2.4.8.2. Sistemas inerciais e GPS

Sistemas inerciais medem posições a partir de uma posição conhecida (LEMIEUX; LUTFIYYA, 2006). A partir disso, as posições posteriores são calculadas sempre considerando a posição anterior como novo ponto de referência. Devido a erros inerentes ao sistema de medição de distância e direção, os erros das medidas vão se acumulando a cada nova medição (LEMIEUX; LUTFIYYA, 2006). Sistemas inerciais apresentam pequenos erros para curtos tempos de uso e grandes erros para longos períodos. Para contornar esse problema, a posição deve ser periodicamente corrigida. Usando o sistema GPS para corrigir o sistema, consegue-se obter um sistema que faça medições interiores com pequeno erro, desde que de tempos em tempos haja visibilidade para o céu.

3. DETECÇÃO DA INTERAÇÃO USUÁRIO/AMBIENTE

Este capítulo define em detalhes o que é interação do usuário com o ambiente, indicando etapas necessárias para se detectar as interações e métodos que permitam inferir os agentes causadores da interação.

3.1. INTERAÇÕES NO AMBIENTE

Interação é definida como sendo uma ação recíproca de dois ou mais corpos (LAROUSSE, 2004). No contexto deste trabalho, os corpos que interagem são as pessoas e os objetos do ambiente que elas ocupam. O ambiente pode ser uma casa, um escritório de trabalho, um edifício ou mesmo um local aberto ao ar livre. Considerando-se interação num contexto de informação e de sistemas computacionais, pode-se observar que uma interação em um ambiente ocorrerá quando o estado de uma propriedade deste ambiente mudar. Assim, para se detectar interações usuário/ambiente é necessário identificar as propriedades que se desejam observar, analisar a mudança de seu estado e descobrir o que provoca a mudança. Se for um usuário do ambiente que provoca a ação, uma interação usuário/ambiente será detectada.

Desse modo, a detecção de interação usuário/ambiente pode ser dividida nas seguintes etapas:

- Definição das propriedades observadas relacionadas às interações;
- Verificação do estado das propriedades observadas para identificar a ocorrência de uma interação;
- Identificação do agente causador da interação.

As propriedades observadas podem ser, por exemplo: estado de um interruptor de luz, ângulo de abertura de uma porta, posição do registro de água, janela aberta ou fechada, televisão ligada ou desligada, posição de uma cadeira ou qualquer outra propriedade de interesse que se relacione com uma interação que se deseja observar.

Para se verificar automaticamente o estado destas propriedades, a utilização de sensores com um sistema de aquisição é a solução lógica mais direta a ser adotada.

Descobrir o agente causador da interação é a parte mais complexa. Por exemplo, uma porta pode ser aberta com alguém a empurrando, com a força do vento, com um pequeno motor elétrico instalado e mesmo com o impacto de uma bola lançada por uma criança. Pode-se também querer distinguir que pessoa (dentre várias) abriu a porta. Um sistema que identifique o agente causador desta ação não é muito trivial. Durante a revisão bibliográfica, não foram localizados trabalhos que tratem exatamente a respeito deste problema, mas foram encontrados alguns, que mesmo sem analisar sobre o mesmo ponto de vista, apresentam soluções aplicáveis a ele.

3.2. TRABALHOS NA ÁREA DE DETECÇÃO DE INTERAÇOES USUÁRIO/ AMBIENTE

Duas palavras chaves permitem localizar trabalhos relacionados com detecção de interação usuário/ambiente: reconhecimento de atividades (*activities recognition*) e análise de contexto (*context-aware*).

Reconhecer atividades remete à idéia de descrever uma ação sendo executada por uma pessoa, tal como ler um livro, assistir televisão, dormir, limpar a cozinha, etc. É interessante notar que reconhecer atividades de pessoas é um propósito que começa a envolver o lado cognitivo delas. A atividade exata que está sendo exercida

depende do objetivo mental de cada indivíduo. Quem olha uma pessoa deitada pode achar que ela está dormindo, mas na verdade ela pode estar pensando de olhos fechados, estar descansando, ter desmaiado etc. Muitas atividades sobrepostas em uma mesma descrição física podem ocorrer e para resolver esta ambigüidade é necessário realizar uma análise de contexto. Os trabalhos que falam em analisar o contexto de pessoas em ambientes (*context-aware*) fazem a correlação de diversos tipos de informações colhidas no ambiente ao longo do tempo e utilizam estas informações em aplicações tal como reconhecimento de atividades (COOK; DAS, 2005).

Em (RONDONI, 2003) foi utilizado um acelerômetro que é preso ao corpo de uma pessoa e um monitor de freqüência cardíaca para detectar transições entre atividades humanas. As informações desses sensores eram enviadas para um *software* num Microsoft Pocket PC que gerava questionários em função do algoritmo de detecção. O algoritmo conseguiu detectar transições de atividades humanas com 93% de acuracidade em testes realizados em dezenove contextos diferentes.

(TAPIA, 2003) usou um conjunto de sensores simples de dois estados (*reed magnets*) e aprendizado de máquina para reconhecer atividades em conjuntos residenciais. Cada sensor foi acoplado num pequeno *datalogger* e colocado em algum objeto do conjunto residencial para medição. Os dados foram pós-processados usando o método de classificação Naive Bayes para identificar as atividades. Conseguiu acuracidade de 25% a 89% nas atividades medidas. (TAPIA, 2003) cita como aplicação do sistema auxiliar a vida de idosos através da identificação automática de atividades.

O projeto MavHome da *University of Texas at Arlington* é uma casa inteligente que aprende através dos seus ocupantes e toma suas próprias decisões para otimi-

zar as operações da casa (YOUNGBLOOD; HOLDER; COOK, 2005). Visitantes podem registrar sua presença no ambiente usando uma leitora de impressão digital. Dados das interações dos visitantes com dispositivos do ambiente são coletados continuamente. Controladores X-10 foram utilizados para automatizar a maioria dos dispositivos da casa. Um dos objetivos da Mavhome é desenvolver algoritmos de predição para ambientes inteligentes. Os algoritmos de predição provêem informações úteis para automatizar atividades e otimizar projetos e métodos de controle de dispositivos individuais (COOK; DAS, 2005).

Em um trabalho de pesquisa, (WILSON; ATKESON, 2004) tiveram o objetivo de fornecer um sistema capaz de identificar, rastrear e identificar atividades de pessoas visando auxílio à saúde. Usa RFID para coletar informação de identidade na entrada e saída da casas. A partir disso, o rastreamento é feito utilizando um conjunto de sensores binários anônimos (*reed switch*, etc). Na mesma linha de pesquisa, (WILSON, 2004) usa dados de vários sensores não invasivos, comuns em sistemas de segurança, para promover rastreamento em nível de cômodos e reconhecimento de atividades cotidianas (ADL- *Activities of Daily Living*). Usa um filtro Rao para rastreamento de cômodo, realiza reconhecimento de atividade rudimentar e associação de dados.

No trabalho de (PHILIPOSE et al., 2004) foi utilizada uma luva com uma leitora RFID para ler *tags* colados em objetos da casa que se deseja detectar a interação. Assim, ao tocar nos objetos com *tags* com a mão contendo a luva, a posição do usuário é identificada. A leitora de RFID interroga em busca de *tags* a cada 2s e quando obtêm resposta envia o ID do *tag* para um computador portátil HP iPaq que armazena os dados e retransmite por WiFi para uma estação central que realiza inferência de atividade.

(SCHMIDT, 2002) desenvolveu uma estrutura para estudo de computação ubíqua, com propósitos de identificar como o contexto nos ambientes podem ser percebidos, distribuídos e utilizados. Para isto, foram descritos protótipos que permitem sensoriamento do ambiente, comunicação e distribuição de dados. Uma plataforma de sensores chamados Smart-It (HOLMQUIST et at al., 2004) foi utilizada para sensoriamento do ambiente e dezenas tipos de sensores para inferir atividade.

3.3. IDENTIFICAÇÃO DO AGENTE CAUSADOR DA INTERAÇÃO

Após analisar estes e outros trabalhos, alguns métodos para detectar o agente causador da interação são propostos a seguir. Como dito anteriormente, cada interação está relacionada com certa(s) propriedade(s) do ambiente e a mudança de estado dessa(s) propriedade(s) indica a ocorrência da interação. Assim os seguintes métodos são propostos para identificar o agente causador da interação:

- Análise de contexto de outras propriedades. Várias propriedades, além das relacionadas com a ocorrência da interação, são analisadas e correlacionadas para concluir o causador da interação. Ex.: considere uma porta fechando (interação percebida através da propriedade ângulo da porta) no mesmo instante que uma rajada de vento (propriedade velocidade do vento) entra pela janela. Sabendo que todas as pessoas da casa estavam na piscina naquele instante (propriedade posição das pessoas), pode-se concluir preliminarmente que o vento foi o agente causador da interação de fechar a porta.
- Análise de padrão de mudança da propriedade da interação. Se cada agente causador de certa interação modificar a propriedade relacionada à interação de um modo específico, pode-se identificar o agente causador da interação.

Ex: se a interação for abrir a porta (propriedade ângulo da porta), pode-se associar um estilo de velocidades de abrir de cada usuário, um padrão geral de uma rajada de vento movimentar a porta, o padrão de velocidade do motor abrir a porta. Conseguindo identificar estes padrões é possível identificar o agente.

- Hipóteses limitantes sobre a utilização do meio. São consideradas que as propriedades relacionadas à interação podem ser mudadas somente por certos agentes. Isso pode simplificar a análise de contexto. Por exemplo: a gaveta de cuecas do guarda-roupa do quarto do João só costuma ser aberta por ele. Nenhuma outra pessoa costuma fazer isto e forças naturais tais como vento e terremotos também não geram ação de abrir a gaveta. Então, quando a gaveta for aberta, logo se associa que João a abriu, simplificando a análise.
- Autenticação para permitir a propriedade mudar. Nesse caso, as propriedades são travadas, ou seja, só podem mudar de estado com uma prévia autenticação do agente causador de mudança. Ex.: para abrir uma porta deve-se antes destrancá-la com uma senha de identificação, caso contrário a trava não será desbloqueada e a propriedade ângulo de abertura da porta não poderá mudar. Para travar as propriedades é necessário a utilização de atuadores, muitas vezes de grande porte.
- Fusão de sistemas. Os métodos acima podem ser utilizados em conjunto. Ex. utilizar hipóteses limitantes junto de análise de contexto.

3.4. SENSORES

Os sensores são utilizados para se verificar o estado das propriedades do ambiente. Alguns tipos de sensores utilizados para detectar interações de usuários em ambientes são citados no Quadro 3.1, seguidos de sua aplicação,.

Sensor	Aplicação
Acelerômetro	Detectar movimentação de objetos, pessoas
Barreira ótica	Detectar entrada/saída de pessoas no ambiente
Bobina indutiva (transformador de corrente)	Indicar que aparelhos elétricos estão ligados (TV, VCR, DVD, PC)
Chaves magnéticas (*Reed switches)*	Detectar abertura de portas, janelas, gavetas, estado de Interruptores
Nível de água	Indicar descarga no banheiro, utilizando o filtro de água
Movimento (infravermelho)	Detecta movimentação de pessoas no ambiente
Pressão/Força	Indicar que sofá está ocupado, cadeira, cama, assento sanitário em uso.
Iluminância	Abertura de janela, luz sendo ligada
Temperatura	Ar-condicionado funcionando, forno aceso

Quadro 3.1 – Sensores utilizados para detectar propriedades de interação em ambientes. (TAPIA, 2003)

(BEAUDIN; TAPIA; INTILLE, 2004) citam que mesmo os sensores mais simples, tais como as chaves magnéticas e as bobinas indutivas fornecem informações de como atividades estão sendo feitas, permitindo aproveitar oportunidades que ocorrem na interface de interação do sensor.

4. SISTEMA PROPOSTO

Este capítulo contém os métodos adotados na implementação do sistema de detecção de usuários e suas interações com o ambiente. É descrito a arquitetura geral adotada, detalhes da rede de sensores, características de software, os módulos de RFID utilizados para localização e identificação de usuários, os sensores utilizados, o ambiente e os procedimentos de testes.

4.1. MÉTODOS UTILIZADOS

Para detectar as interações usuário/ambiente, foram seguidas as etapas apresentadas no capítulo 3, necessárias para se alcançar este objetivo. São reapresentadas a seguir:

- Definição das propriedades observadas relacionadas às interações;
- Verificação do estado das propriedades observadas para identificar uma interação;
- Identificação do causador da interação.

A verificação do estado das propriedades observadas foi feita automaticamente através de uma rede de sensores. Cada propriedade observada é associada com um sensor conectado à rede de sensores. No item 4.6, são indicadas as propriedades observadas neste trabalho e os sensores utilizados.

A identificação do agente causador das interações foi realizada considerando análise de contexto e hipóteses limitantes. A análise de contexto foi baseada na análise da propriedade posição dos usuários e posição dos sensores. Sabendo qual usuário está próximo a um determinado sensor, no momento que este sensor muda

de estado, é possível concluir que o usuário próximo ao sensor foi o causador da interação. Quanto mais preciso for o posicionamento dos usuários, maior precisão existirá em determinar qual usuário causou a interação com certo sensor.

A utilização de sistema RFID permite fazer identificação de pessoas e também localizá-las pelo método de localização por proximidade. Se um conjunto de leitoras for distribuído no ambiente de tal forma que suas regiões de leitura não coincidam, os *tags*, ao passarem pelas leitoras, poderão ter sua posição estimada pela própria posição das leitoras. Quanto mais leitoras forem utilizadas numa área, maior será definição da posição. Assim, se usuários portarem *tags* eles serão identificados e localizados por uma única leitora.

Neste trabalho foi escolhido o uso do sistema de RFID, em detrimento a outros pelos seguintes motivos:

- RFID permite fazer identificação de pessoas a distância de forma ubíqua, sem necessidade de ação específica de identificação;
- RFID apresenta baixo custo de *tags* e leitoras;
- RFID pode ser usado de forma ubíqua para localizar pessoas pelo método de proximidade em ambientes fechados e abertos;
- Sistemas de RFID estão em plena ascensão e espera-se sua aplicação em larga escala nos próximos anos.

4.1.1. HIPÓTESES LIMITANTES

Neste trabalho, a detecção das interações humanas com o ambiente considerou as seguintes hipóteses:

I) Considera-se que os sensores somente mudam de estado devido a uma ação de origem humana. Essa hipótese é razoável considerando que ambientes residenciais e comerciais são humano-centrados. Isto significa que portas, janelas, gavetas, televisão, etc. são desenvolvidos para operar em resposta a uma ação humana. Em princípio, essas ações não devem ocorrer sozinhas, sem o desejo dos usuários destes ambientes. Apesar de esses ambientes serem humano-centrados, podem ocorrer interações que não envolvam usuários (vento, animais de estimação, etc.). Neste caso, o agente causador da interação terá de ser detectado através de uma análise de contexto envolvendo mais propriedades destes ambientes. Um estudo mais profundo em análise de contexto permite que esta hipótese seja descartada, mas isso não será realizado neste trabalho.

II) Considera-se que todos os usuários que utilizam o ambiente portam *tags* RFID identificadores. Como o ambiente utilizado nos testes era controlado, foi possível garantir que todos os usuários do ambiente utilizassem *tags* identificadores. O *tag* utilizado neste trabalho também possuía pequenas dimensões, podendo ser incorporado de forma ubíqua ao usuário.

4.2. ARQUITETURA DO SISTEMA

O sistema proposto apresenta arquitetura como a mostrada na Figura 4.1. Cada usuário carrega um *tag* RFID identificador (ID) junto de seu corpo. Estes *tags* são lidos por uma leitora de RFID instaladas nos ambientes para identificar a presença dos *tags* e consequentemente dos usuários. À medida que os usuários interagem com os objetos dos ambientes, sensores colados a eles detectam a ocorrência de

interações. A rede de sensores é responsável pela leitura dos sensores e dos IDs dos usuários. Estes dados são enviados para um computador central, responsável por processá-los e que, por sua vez, pode retransmiti-los para outros computadores conectados à rede TCP/IP.

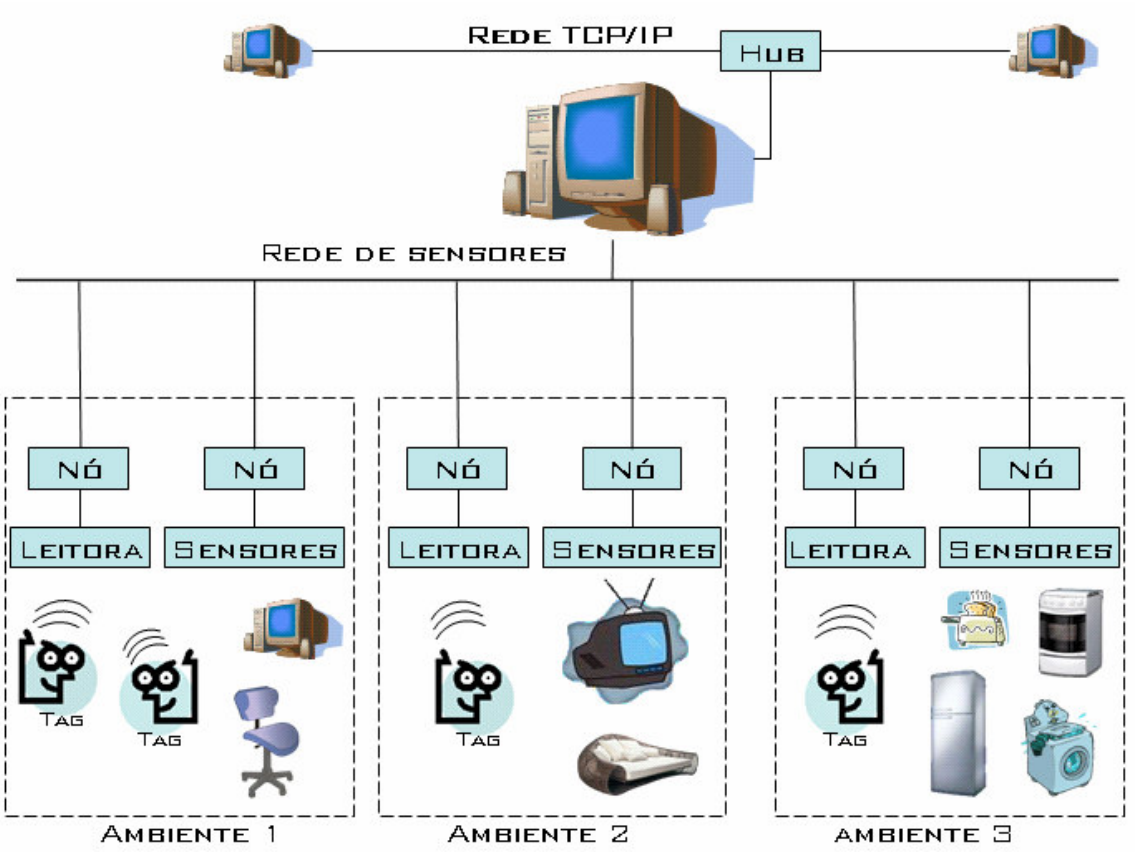

Figura 4.1 – Arquitetura do sistema de detecção de interações e de usuários.

Um *software* foi desenvolvido para efetuar a comunicação com a rede de sensores, detectar mudanças de estado nos sensores e receber o ID do usuário lido pela leitora de RFID contida no mesmo ambiente do sensor. Dessa forma é possível detectar as interações de usuários no ambiente e indicar o usuário causador da interação. O *software* também permite transmitir informações da rede de sensores a outros micros através de *sockets* TCP/IP.

4.3. A REDE DE SENSORES

A rede de sensores utilizada neste trabalho (TIBIRIÇÁ et al., 2007) foi especialmente desenvolvida para ser um meio de comunicação de baixo custo para aplicações de detecção de interações de usuários. Nessas aplicações, centenas a milhares de sensores podem ser lidos e o custo da rede não deve ser o fator limitante da aplicação. Os nós foram implementados em microcontroladores Microchip Pic 16F628a e utilizam par-trançado como meio físico de comunicação. O Quadro 4.1 mostra as principais características da rede utilizada.

Topologia	• Em barra para longas distâncias • Livre, para curtas distâncias
Serviços do Protocolo	• Checagem de erros • Endereçamento • Tamanho de pacote variável • Mensagem com ou sem reconhecimento
Máxima taxa de transmissão	250 kb/s
Meio físico	Par trançado
Máximo comprimento do canal	1000 m
Máximo número de nós por canal	256
Máximo número de entradas por nó	128
Consumo típico dos nós	10 mW

Quadro 4.1– Características da rede utilizada para sensoriamento (TIBIRIÇÁ et al., 2007).

A rede opera na configuração mestre/escravo, em que onde um nó mestre coordena a comunicação, acessando dados de sensores ou comandando ações em atuadores (motores, relés, etc.) nos nós escravos.

No desenvolvimento desta rede foi previsto que o nó mestre pudesse ser tanto um nó dedicado, com *hardware* similar aos outros nós da rede, ou um computador pessoal. As vantagens da utilização de um nó mestre dedicado são: menor consumo de energia (miliwatts de um mestre dedicado contra watts de um computador); menor custo (dependendo da aplicação, um nó dedicado pode ter um custo dezenas de

vezes menor); maior robustez (o *hardware* de um computador contém partes mecânicas essenciais ao seu funcionamento, *hard disk, cooler*, tornando-o mais suscetível a falhas do que um nó contendo somente componentes eletrônicos). As vantagens da utilização de um computador pessoal como mestre são: facilidade na atualização e reconfiguração da rede (inclusive podendo ser reconfigurada sem parar seu funcionamento, o *software* se reconfigura *online*); algoritmos de controle complexos e que exigem alto processamento podem ser implementados com facilidade; a rede de sensores pode ser facilmente integrada a outros *softwares* (*softwares* de monitoramento, análise de sinais, controle); a rede pode ser acessível remotamente através de outros computadores conectadas através de um rede TCP/IP.

Aplicações que necessitem da centralização de uma alta quantidade informação para análise, controle ou armazenamento, são casos típicos onde a utilização de um nó mestre computador é vantajosa. Neste trabalho o nó mestre foi um computador PC compatível AMD Duron 1,1GHz. Era necessário o armazenamento de dados para análise e previu-se futura utilização de algoritmos de controle complexos no sistema. Para isto, um *software* foi desenvolvido para controle da rede, sendo descrito no capítulo 4.4.

Uma vantagem da utilização do protocolo de acesso ao meio do tipo mestre/escravo em relação a protocolos CSMA é a menor necessidade de processamento exigido por este método. Assim, com um único, simples e barato microcontrolador, tal com um Microchip Pic 16F628a, é possível implementar nos nós escravos, processos da camada de acesso ao meio e da camada de aplicação operando de forma escalonada, como se fossem processos executando em paralelo. Desta forma, quando um nó escravo recebe um comando do nó mestre, ele responde prontamente, sem a necessidade da rede inteira parar, esperando que a informação pro-

veniente da camada de aplicação do nó seja processada e reenviada ao nó mestre. Para se ter uma idéia, um Neuron Chip (TMPN3120, 2003) que é o processador dos nós da rede de controle LonWorks, baseado no protocolo CSMA, utiliza três núcleos de processamento trabalhando em paralelo para conseguir atender todas as demandas de processamento, desde a camada de enlace até a de aplicação. O preço do Neuron Chip está por volta de US$8,00 (ARROW, 2007) enquanto um pic 16F628a está a menos US$1,30 (MICROCHIP, 2007). O chip da rede Pyxos da Echelon, que também utiliza comunicação mestre/escravo, custa menos de US$3,00 (EBV, 2007).

Na rede desenvolvida, cada nó tem um endereço pré-definido. O nó mestre ao enviar ama mensagem, especifica o endereço do nó que se deseja comunicar e um comando indicando qual variável do nó ele quer acessar. Todos os nós ficam lendo constantemente os dados da rede, analisando se uma mensagem é endereçada a ele ou não. Durante esse processo de leitura da rede os nós também executam seu processo da camada de aplicação, tal como leitura do sensor de temperatura, leitura do receptor de controle remoto, leitura de sensores digitais etc. Assim que um nó identifica que uma mensagem é endereçada a ele, imediatamente ele responde com o valor já processado pelo processo de aplicação, minimizando o tempo de espera do nó mestre.

Colisões de mensagens não devem ocorrer, a não ser que dois nós com as mesmas funções sejam configurados com o mesmo endereço de rede e estejam no mesmo barramento físico.

Desta forma, nós escravos com entradas digitais e analógicas foram implementados, permitindo leitura de chaves magnéticas, bobinas indutivas, sensores de pressão, receptor infravermelho de controle remoto, temperatura, umidade relativa e

luminosidade a uma taxa de comunicação de 250kbps. Também foram implementados nós atuadores do tipo servo-motor e relé. No caso de nós atuadores, o protocolo permite que a mensagem de atuação seja feita com ou sem reconhecimento. Com reconhecimento se garante que o nó atuador recebeu a mensagem, e sem reconhecimento permite uma redução da banda utilizada.

A freqüência de leitura das variáveis dos nós escravos, lidas pelo nó mestre, pode ser ajustada e nos experimentos realizados foi de 10 Hz por variável (valor suficiente para detectar interações geradas por seres humanos em atividades cotidianas).

Uma forma simples de comparar o custo de rede de sensores é analisar o custo da rede por entrada digital disponibilizada. Neste, divide-se o custo total do sistema (*hardware*, *software* de configuração e monitoramento necessários) pelo número de entradas digitais instaladas. No caso da rede desenvolvida neste trabalho, analisando os custos dos módulos protótipos construídos, o custo do sistema ficou próximo a US$ 1,00 por entrada digital. Neste valor, consideram-se custos dos nós, não sendo considerado o custo de desenvolvimento do *software* (desenvolvido pelo próprio autor). Redes de controle como a Lonworks, apresentam custos superiores a US$ 6,00 por entrada digital, sem se considerar o custo dos *softwares* (a licença destes ultrapassam facilmente a casa dos US$ 1000).

4.4. *SOFTWARE*

Um computador PC compatível foi utilizado como nó mestre da rede de sensores. A interface entre o computador e a rede foi através da porta serial. Para isto, um *software* foi escrito em linguagem C++ para operar em sistemas operacionais Windows. As funções realizadas pelo *software* são: cadastramento de novos nós na re-

de de sensores, configuração dos nós, definição da seqüência de leitura das variáveis da rede, definição do intervalo de leitura das variáveis da rede, armazenamento das variáveis lidas, detecção de interações baseado na mudança de estado das variáveis, armazenamento de interações ocorridas, detecção de erros de comunicação e permitir acesso remoto a rede através de uma conexão por *sockets* TCP/IP de outros aplicativos.

Ao permitir acesso remoto à rede de sensores, este *software* opera como um *middleware* entre a rede de sensores e outros aplicativos. Desta forma, foram implementadas algumas aplicações para controlar a luminosidade do ambiente de testes e rotacionar um servo motor de uma *webcam* disposta no ambiente, a partir de botões pressionados por um controle remoto. Com este *middleware*, diversas aplicações de controle que utilizam dados da rede de sensores poderão ser desenvolvidas.

A detecção de interações foi feita comparando-se os valores atuais lidos dos sensores com o seu valor anterior. Sempre que os valores atuais e anteriores fossem diferentes, uma interação era detectada.

4.5. MÓDULOS DE RFID PARA IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

O sistema de RFID utilizado foi desenvolvido de tal forma que permitisse a identificação de usuários a distância sem necessidade de o usuário se preocupar com a ação de identificação. O sistema deveria ter um raio de ação ajustável para permitir que sua área de leitura fosse compatível com a localização dos sensores no ambiente. Optou-se por desenvolver o sistema de RFID, ao invés de comprar sistemas disponíveis comercialmente, devido a dificuldade em se ajustar essa distância de

comunicação nos sistemas comerciais e também ao custo elevado de sistemas de *tags* que permitem uma leitura a distâncias maiores de 5m.

Assim, no sistema desenvolvido cada usuário utilizou um *tag* de RFID ativo (com bateria) que era lido pela leitora de RFID. Esta leitora foi integrada a rede de sensores. A Figura 4.2 mostra o *tag* de RFID utilizado e a Figura 4.3 a leitora deste *tag*.

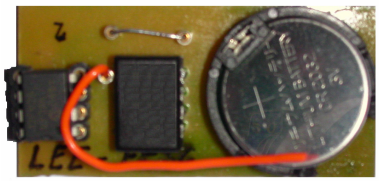

Figura 4.2 – *Tag* utilizado nos experimentos (tamanho natural).

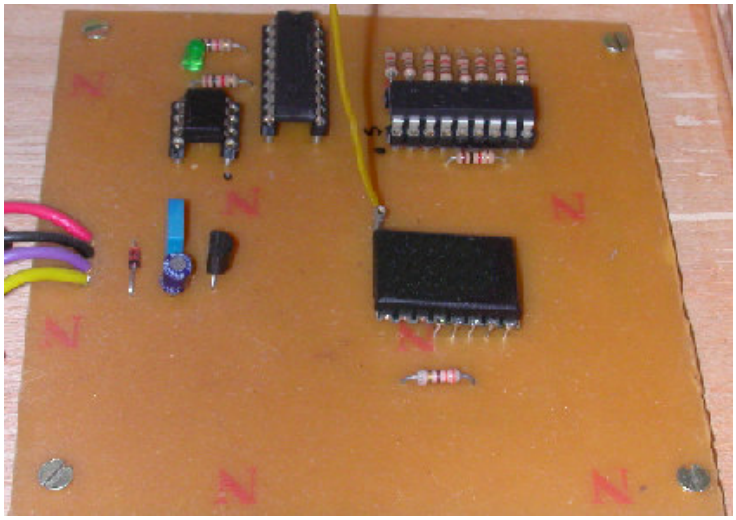

Figura 4.3 – Leitora de *tags* utilizada no experimento.

A comunicação entre os *tags* e a leitora foi feita através de um canal RF de 433 MHz. Os *tags* são programados para enviar constantemente seu ID através do canal RF. O tempo de cada transmissão dura em torno de 5ms e pode ocorrer em intervalos configuráveis de múltiplos de meio segundo. Como o raio de operação nos testes realizados se limitava a alguns metros era pouco provável ocorrer colisão por excesso de *tags* numa mesma área de leitura. Mesmo assim, para evitar que *tags* entrassem em colisão por poderem entrar em sincronia de transmissão, um tempo

aleatório de poucos milisegundos foi adicionado ao intervalo de cada transmissão, evitando assim que dois *tags* entrassem em sincronia destrutiva.

A leitora é capaz de ler até 16 *tags* (limitação imposta unicamente por quantidade de memória disponível) na sua área de alcance. Os IDs dos *tags* lidos são armazenados num *buffer* da leitora. Quando os *tags* saem da área de alcance, seus IDs ainda permanecem no *buffer* por um tempo configurável antes de serem apagados. No experimento realizado foi utilizado um tempo de cinco segundos de duração dos IDs dos *tags* no *buffer* da leitora. Este valor foi escolhido para filtrar pequenas perdas de comunicação entre o *tag* e a leitora. Um tempo mais longo não é conveniente, pois indicaria presença do *tag* num ambiente recém desocupado por mais tempo.

Na versão atual deste protótipo de sistema RFID, o tag pode operar continuamente por 2 meses com uma bateria do tipo CR2032 e a distância de comunicação pode ser ajustada de poucos centímetros até 100 metros.

4.6. O AMBIENTE DE TESTES

Para a realização dos testes, um cômodo (aproximadamente 15 m^2) de um apartamento foi instrumentado com vários sensores. Devido ao aparato requerido, entendeu-se que a instrumentação de um único cômodo seria suficiente para avaliar o potencial e as limitações do sistema proposto. O sistema de identificação e localização por RFID foi feito através de uma única leitora dentro deste cômodo. Assim, a posição dos usuários no teste pôde assumir dois estados: usuário dentro do cômodo, ou fora dele. Isto foi suficiente para testar as características de recepção de sinal da leitora, tal como, direcionalidade, atenuação do sinal por objetos intermediários,

controle da sensibilidade de recepção do sinal e potência de transmissão dos *tags*. A leitora de RFID foi ajustada para perceber *tags* num raio aproximado de 3m.

O cômodo, Figura 4.4, foi organizado para simular interações de um ambiente utilizado como dormitório e local de estudos. Ele contém uma porta, uma janela, uma cama, um armário, uma barra de ginástica presa na porta e um computador PC. Dois botões próximos ao computador foram usados para aumentar ou diminuir a iluminação de leds e para ligar/desligar a lâmpada incandescente. Um interruptor convencional também permitia ligar/desligar a lâmpada do teto. Um controle remoto sem fio permitiu controlar a iluminação e rotacionar uma *web*-câmera ligada ao computador.

O Quadro 4.2 mostra as propriedades observadas utilizadas para detectar interações de usuários. Um total de seis nós da rede de sensores foram utilizados para a aquisição das propriedades. A Figura 4.4 indica a localização física de cada sensor.

Número	Tipo de sensor	Propriedade
1	*Reed Switch*	Janela aberta/fechada
2	*Reed Switch*	Porta do quarto aberta/fechada
3	*Reed Switch*	Porta armário aberta/fechada
4	Bobina indutiva	Lâmpada ligada/desligada
5	Pressão	Cama ocupada/desocupada
6	Pressão	Barra de ginástica ocupada/desocupada
7	Pressão	Mouse do computador em uso ou não
8	Movimento infravermelho	Movimentação de pessoas no cômodo ou não
9	Interruptor/Botão	Aumentar iluminação (Botão+)
10	Interruptor/Botão	Diminuir iluminação (Botão-)
11	Receptor controle remoto	Código do botão pressionado do controle remoto
12	Temperatura	Temperatura
13	Umidade	Umidade
14	Luminosidade	Luminosidade
15	Leitora de RFID	Identidade e presença de usuário

Quadro 4.2 – Propriedades observadas no ambiente experimental e os sensores utilizados para detectar mudanças de estado das propriedades.

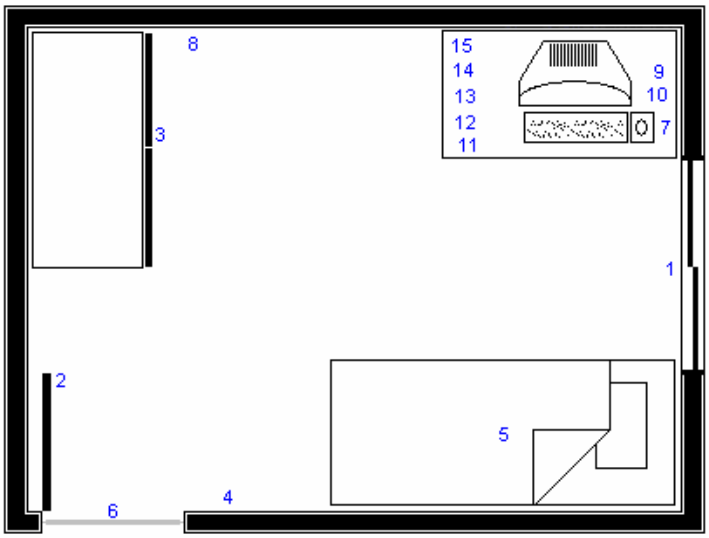

Figura 4.4 –. Planta do cômodo de testes com posição dos sensores.

As quinze variáveis do Quadro 4.2 foram monitoradas, inclusive a leitora de *tags* RFID que indicava a identidade dos usuários. No item 4.7 são especificados os sensores.

Os sensores de pressão na cama, no *mouse* e na barra de ginástica indicam o estado “1” quando pressionados por um peso (valor de pressão pré-ajustado durante a instalação do sensor). Quando a lâmpada era acesa acrescentavam-se 70 lux de iluminância na posição do sensor de luz no cômodo. A corrente elétrica passando pela lâmpada, quando acesa, induzia uma tensão na bobina indutiva. Esta tensão era amplificada e servia para indicar se a lâmpada estava acesa ou não. O sensor de movimento infravermelho usado é um sensor típico de sistemas de alarme e foi utilizado para indicar pessoas se movimentando no ambiente. Os *reed switches* foram instalados na porta, na janela e no armário, com imãs, a uma distância de 1 cm. Os sensores de temperatura, umidade e luminosidade também foram utilizados, pois algumas interações podem ser percebidas por estes sinais (iluminância pode

indicar o acender da luz, temperatura e umidade podem indicar uma abertura da janela permitindo esfriar o quarto, etc.).

4.7. SENSORES UTILIZADOS

Para detectar interações de usuários no ambiente existem vários sensores simples e de baixo custo que podem ser facilmente instalados. A seguir, são especificados os sensores utilizados neste trabalho.

4.7.1. *REED SWITCH*

Foram utilizados *reed switches* com aproximadamente 1cm de comprimento no experimento. Esses *reed switches* tem seus terminais de contato ferromagnéticos envoltos por uma atmosfera com gás seco inerte, dentro de uma cápsula de vidro, Figura 4.5. Na presença de um campo magnético paralelo aos terminais, os contatos do *reed switch* se fecham, permitindo a passagem de corrente elétrica nos terminais. Na montagem do experimento, cada *reed switch* foi colado a uma porta, ou janela, próximo de um imã. Sempre que as portas ou janelas se encontrassem em posição fechadas o campo magnético do imã estaria paralelo aos *reed switches* e, portanto, seus contatos fechados. A Figura 4.6 mostra os *reed switches* em cápsulas de vidro. O custo de cada *reed switch* foi de R$1,00 e os imãs utilizados foram retirados de disco rígidos danificados de computador.

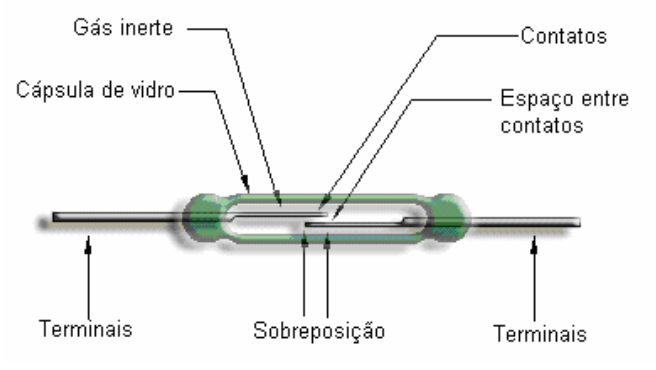

Figura 4.5 – Elementos de um *reed switch* (REEDSWITCH, 2007).

Figura 4.6 - *Reed switches* em cápsulas de vidro (REEDSENSOR, 2007).

4.7.2. SENSOR DE PRESSÃO/FORÇA

O sensor de pressão foi construído para ter uma saída digital indicando que um determinado peso está atuando na superfície do sensor. Dois tipos foram construídos: de metal para altas cargas e de plástico/papelão para baixas cargas. Ambos os tipos de sensores são feitos de duas placas de seu respectivo material separadas a uma pequena distância através de um isolador. Quando uma força é aplicada sobre a superfície destas placas elas se deformam e encostam uma sobre a outra, fazendo com que os contatos metálicos condutores sobre sua superfície fechem contato elétrico, Figura 4.7. Um par de fios é ligado às placas e elas operam como chaves sensíveis a força. Uma das formas de ajustar a força necessária para as placas se

encostarem é através da mudança da distância de separação das placas ou através da troca da espessura delas. As placas devem operar dentro do limite máximo de escoamento do material utilizado. O sensor de placas de metal foi utilizado para perceber o peso de uma pessoa acima de 30 kg sobre a cama. O sensores de placas de plástico foram utilizados para detectar interações no mouse do computador e na barra de ginástica.

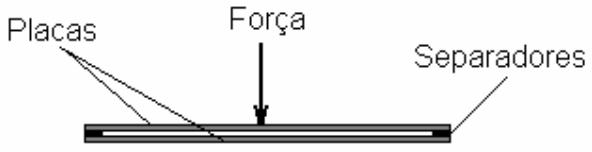

Figura 4.7 – Sensor digital utilizado para medir força/pressão.

4.7.3. BOBINA INDUTIVA

Foi utilizada uma bobina de fonte de computador com 20 voltas no primário e 40 voltas no secundário para detectar passagem de corrente. Os terminais primários da bobina foram ligados em série com a fase de alimentação da lâmpada. O sinal induzido no secundário da bobina foi amplificado por um amplificador diferencial, sendo em seguida retificado. Assim um sinal digital foi obtido, indicando se a lâmpada estava acesa ou não.

4.7.4. SENSOR DE MOVIMENTO INFRAVERMELHO

Um sensor de movimentação infravermelho comercial foi utilizado para detecção de movimentação no ambiente, Figura 4.8. Sua saída é um relé normalmente fechado (NF) e quando alguém movimenta dentro de seu campo de sensibilidade o

relé é aberto, indicando movimentação. Os sensores de movimentação mais simples custam menos de R$ 30,00.

Figura 4.8 – Sensor de movimento infravermelho (JFL, 2007)

4.7.5. RECEPTOR DO CONTROLE REMOTO INFRAVERMELHO

Neste trabalho foi implementado o protocolo de controle remoto da televisão Sharp. Foi utilizado um receptor infravermelho, circuito integrado TSOP1738, como filtro passa-banda na freqüência de 38kHz, Figura 4.9. Com este filtro, somente os sinais de 38kHz enviados pelo controle remoto Sharp, eram interpretados pelo microcontrolador, eliminando interferências da lâmpadas e luz solar. Este receptor demodula o sinal de 38kHz do controle remoto em seqüências de “0”s ou “1”s. O microcontrolador ligado ao receptor reagrupa estes bits e compara com o protocolo Sharp. O custo deste receptor, Figura 4.9, está por volta de R$6,00.

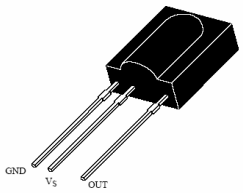

Figura 4.9 – Receptor infravermelho para controle remoto (TSOP1738, 2001)

4.7.6. TEMPERATURA E UMIDADE

Para medição de temperatura e umidade relativa foi utilizado o circuito integrado SHT11, da empresa Sensirion, Figura 4.10. Esse circuito utiliza uma interface serial síncrona proprietária para leitura da informação de temperatura e umidade. A faixa de operação da temperatura é da -40°C a 125°C, com 14bits de resolução e erro máximo de 2°C sobre faixa de -40°C a 80°C. A faixa de operação da umidade relativa é de 0% a 100%, com resolução de 12bits e erro máximo de 5%. Este dois sensores integrados num mesmo circuito custam em torno de R$100,00 em distribuidores no Brasil.

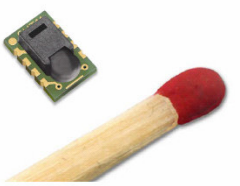

Figura 4.10 – Sensor de temperatura e umidade(SHT11, 2002).

4.7.7. LUMINOSIDADE

O sensor de luminosidade utilizado foi o circuito integrado APDS9002, foto-sensor pré-calibrado para operar no espectro visível, com resposta ao espectro luminoso próxima ao do olho humano, Figura 4.11. É um foto-transistor específico para medições de luminosidade. A corrente de saída no coletor do foto-transistor é diretamente relacionada com a luminosidade incidente no sensor. É possível encontrar este sensor, em distribuidores no Brasil, por menos de R$ 10,00 a unidade.

Figura 4.11 – Sensor de luminosidade (APDS, 2005).

4.8. PROCEDIMENTO DE TESTES

Os testes realizados objetivaram verificar a capacidade de detecção das interações e a capacidade de detecção dos usuários do sistema implementado. Para realizar estas verificações, dois usuários portando *tags* de RFID fizeram interações com o ambiente enquanto o sistema registrava um histórico de todas as interações percebidas pelos sensores. Uma *web*-camera foi utilizada para gravar as interações reais ocorridas no ambiente. Assim, pôde-se comparar a situação real ocorrida no ambiente (vista pela web-câmera) com o resultado registrado no PC e verificar se as interações e os usuários foram detectados corretamente. Todas as variáveis digitais (*reed switch*, bobina indutiva, sensor de pressão, leitora RFID) tiveram seus valores registrados sempre que mudavam de estado. As variáveis analógicas (temperatura, umidade e iluminância) tiveram seus valores registrados a cada 3 minutos.

4.9. DIFICULDADES OBSERVADAS AO LONGO DO TRABALHO

Redes de sensores e softwares disponíveis comercialmente que permitam implementar a aplicação proposta neste trabalho apresentam custos altamente proibitivos, na casa de milhares de dólares. Isto torna inviável, pesquisas, onde recursos financeiros são limitados. Especificar, desenvolver, testar e tornar operável uma rede de sensores com vários tipos de nós, e *softwares* auxiliares a sua operação re-

quer milhares de horas de trabalho, com testes intensivos em dezenas de condições diferentes.

Sistemas ubíquos são cada vez mais uma necessidade nos ambientes modernos. A instalação de forma ubíqua de sensores, redes de comunicação e outros equipamentos nos ambientes demanda planejamento e investimento financeiro. Planejamento, pois, deve-se prever os locais onde serão necessários esconder fios e sensores, permitindo também fácil manutenção e expansão do sistema. Investimento, pois, algumas vezes, somente é possível tornar um sistema ubíquo em um ambiente, com uma remodelagem arquitetônica prevendo a presença destes equipamentos. Em algumas aplicações, ubiqüidade e manutenção podem se contrapor e é necessário que a solução adotada seja um equilíbrio entre estas necessidades.

Alguns equipamentos como sensores de pressão/força e tags de RFID (ajuste da potência do sinal), requerem a calibração no próprio local de instalação. Esta calibração pode ser demorada e a instalação de dezenas de sensores do mesmo tipo deve ser avaliada ao se propor sua ampla utilização.

5. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos testes realizados para verificar o sistema implementado e a análise destes resultados.

5.1. RESULTADOS OBTIDOS

A Figura 5.1 contém um resultado de 24 horas de registro de dados do sistema. Cada variável representa as variáveis indicadas no Quadro 4.2 (com a leitura de dois *tags* RFID). Durante a noite, a partir das vinte e três horas, o cômodo ficou desocupado com a porta e janela fechadas. Durante o dia o usuário com Tag1 trabalhou intensamente no computador com alguns intervalos de descanso, incluindo almoço efetuado fora do cômodo, aproximadamente entre as treze e quinze horas. O usuário com Tag2 entrou no quarto duas vezes por pequenos períodos.

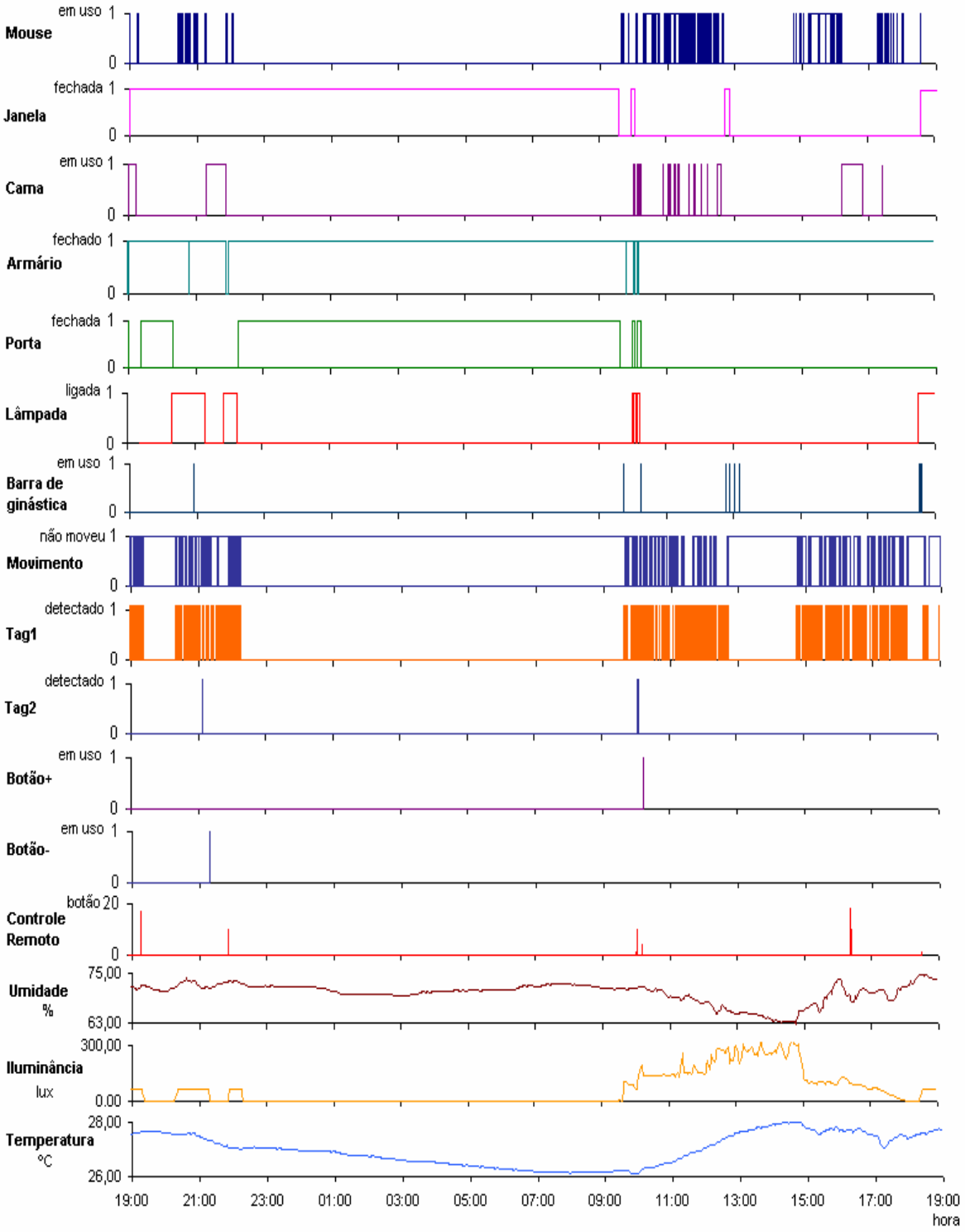

Figura 5.1 – Exemplo de um resultado de 24 horas de registro de dados do sistema.

A Figura 5.2 é uma vista detalhada da Figura 5.1, entre 10h e 10h20min. Neste período, as interações observadas visualmente para comparação com os dados registrados estão descritas no Quadro 5.1.

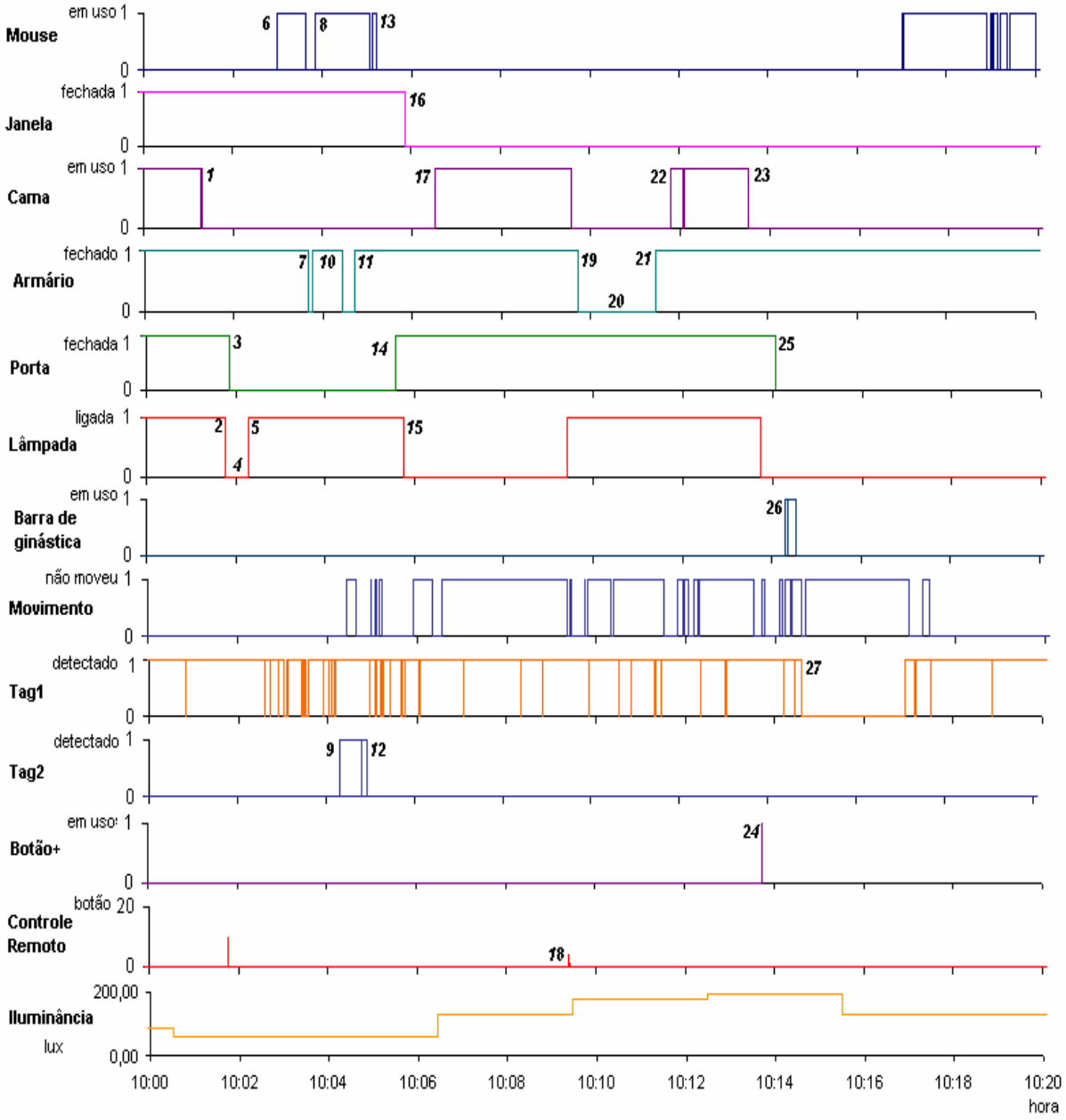

Figura 5.2 – Vista detalhada da Figura 5.1 entre 10h e 10h20min.

Número	Descrição
1	Usuário com Tag 1 (U1) levantou da cama
2	U1 desligou a luz
3	U1 abriu a porta
4	U1 começou a andar fora do quarto mas próximo à porta para chamar U2
5	U1 voltou para o quarto e ligou a luz
6	U1 foi para o computador
7	U1 abriu o armário para pegar um CD de música e o fechou em seguida
8	U1 voltou para o computador e ligou o som
9	U2 entrou no quarto
10	U2 abriu o armário para pegar livros
11	U2 fechou o armário
12	U2 saiu do quarto
13	U1 deixou o computador
14	U1 fechou a porta do quarto
15	U1 desligou a luz
16	U1 abriu a janela
17	U1 deitou na cama (4 min)
18	U1 usou o controle remoto para ligar a luz
19	U1 decidiu mudar de roupas, então abriu o armário
20	U1 procurou por uma calça (2 min)
21	U1 fechou o armário
22	U1 sentou na cama para vestir as roupas
23	U1 levantou da cama
24	U1 desligou a luz apertando o Botão+, próximo ao computador
25	U1 abriu a porta do quarto
26	U1 se exercitou na barra no vão da porta
27	U1 saiu do quarto

Quadro 5.1 – Eventos observados visualmente durante o período de testes mostrados na Figura 5.2.

Considerando que cada variável observada foi atualizada numa freqüência de 10 Hz, um total aproximado de 13 milhões de leituras ocorreu na rede de sensores num período de 24 horas desse teste. O *log* de comunicação não apresentou erros ou perda de dados durante esse teste.

5.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos dados como os da Figura 5.1, da Figura 5.2 e do Quadro 5.1 permitiu observar vários fatos relacionados às interações dos usuários com o ambiente e características do sistema em testes. Por exemplo: pôde-se identificar o número de horas de uso de computador neste dia, quantas vezes se exercitaram na barra de ginástica, os horários que cada usuário esteve presente no cômodo, as horas de descanso na cama, os horários que o cômodo ficou vazio, se o usuário trabalhou no computador à noite, se houve deficiência de iluminação etc.

Observando as variáveis Tag1 e Tag2 na Figura 5.1 percebe-se que o usuário com Tag1 (U1) foi o responsável pelas interações ocorridas no cômodo durante a maior parte do tempo. O usuário com Tag2 (U2) esteve no quarto somente as 21h e as 10h como registrado na variável Tag2.

Entre as 19h e 23h, observa-se a interação do U1 sobre a lâmpada através do sensor bobina indutiva que indica que a lâmpada está acesa ou apagada. Ele também utilizou o Botão e o controle remoto para controlar a lâmpada. Por ser noite, toda luminosidade captada pelo sensor de iluminância provinha da lâmpada (70 lux) e a comparação entre as variáveis lâmpada e iluminância mostra padrões de mudanças similar.

No período noturno entre as 23h e às 10h, em que o cômodo foi mantido vazio e fechado, o sistema se comportou de forma coerente, não indicando novas interações neste intervalo.

Para detectar a interação de usuários com o computador, um sensor de pressão sob o *mouse* foi utilizado. Analisando-se a variável *mouse* na Figura 5.1 e na Figura 5.2, percebe-se a oscilação freqüente do estado do sinal de pressão no *mouse*. Isso

permite afirmar que o usuário não fica com a mão sobre o *mouse* o tempo todo durante o uso do computador, fato confirmado pela *webcam*.

Repare na Figura 5.2 que o sinal do RFID do Tag1 oscilou durante a presença de U1 no quarto. Essa oscilação ocorreu devido a rápidas falhas na comunicação entre a leitora e o *tag*. Falhas dessa natureza podem ser minimizadas através do ajuste do tempo que o *tag* permanece armazenado no *buffer* da leitora após a perda do seu sinal. Várias são as causas de perda temporária do sinal. A mais freqüente observada neste trabalho foi a atenuação do sinal do *tag* causado por objetos grandes entre a leitora de RFID e o *tag*. Outra causa da perda de sinal foi devido ao *tag* não apresentar um diagrama de distribuição de potência omnidirecional. Assim o alcance mudava em função da orientação do *tag* em relação à leitora.

Observando-se a Figura 5.2 e o Quadro 5.1, quando U1 saiu do quarto para chamar U2, o sinal de U1 ainda foi captado, mesmo ele estando fora do quarto. Isto ocorreu devido ao controle de sensibilidade de alcance da leitora de RFID implementada não ser tão eficiente.

O sensor de movimento infravermelho ligava e desligava-se acompanhando a movimentação no quarto. Este sensor, em muitas aplicações é utilizado com o objetivo de detectar presença de pessoas em ambientes. Constata-se pela Figura 5.2 que este sensor não detecta movimentos curtos e lentos, mesmo com alguém posicionado de frente para o sensor, como acontece no caso da utilização da cama entre as interações 22 e 23. Outro problema identificado no experimento com este tipo de sensor ocorre quando toda a superfície do corpo está coberta por roupa grossa e fria. Como a emissão de infravermelho do corpo é barrada pela roupa, o sensor não detecta a movimentação da pessoa e esta se torna invisível ao sensor.

A menos desses problemas, comparando-se o Quadro 5.1 com a Figura 5.2, percebe-se que os sensores detectaram as interações propostas de forma correta. Os usuários também foram identificados sempre que estiveram dentro do cômodo. Os momentos exatos que as interações ocorreram foram registrados, sendo possível com um pouco de análise reconstruir as interações no ambiente passo a passo.

Enquanto U2 esteve no quarto no horário das 10h as 10h20min, pode-se inicialmente concluir que não é possível distinguir se as interações ocorridas no quarto foram causadas ou por U1 ou por U2. Isto se deve ao fato de o sistema de localização dos usuários utilizado não ter definição suficiente para distinguir a posição de cada usuário dentro do cômodo (era apenas uma leitora neste ambiente). Esta definição pode ser aumentada através da utilização de mais leitoras dentro do cômodo, acompanhado do ajuste da área de cobertura das leitoras. Apesar da definição de posição do sistema implementado ser insuficiente para distinguir as posições de U1 e U2 dentro do cômodo, ainda é possível, neste caso, distinguir as iterações de cada usuário. Uma simples análise de contexto das variáveis *mouse*, Tag1 e Tag2 permite deduzir quem causou as interações no ambiente. Repare que quando U2 entrou no quarto, U1 já estava presente e utilizando o computador (porque o *mouse* estava ativo). Se for admitido que U1 permaneceu no computador pressionando o sensor de pressão do *mouse* enquanto U2 esteve no quarto, pode-se afirmar que as interações do ambiente, excluindo o *mouse* do computador, foram causadas por U2.

A necessidade dos usuários portarem um *tag* identificador pode parecer intrusiva e não ubíqua a primeira vista, mas a utilização prática durante os testes demonstrou que se o *tag* for pequeno o suficiente para ser usado como um relógio, brinco, óculos ou integrado ao celular, as pessoas rapidamente se acostumam com sua pre-

sença, tal como se acostumaram com outros acessórios que utilizam em seu dia-a-dia.

A rede de sensores operou adequadamente, atendendo os requisitos de custo e de serviços de comunicação da aplicação. Esta rede vem sendo testada desde 2004 em uma casa real e os testes vem demonstrando alta integridade de comunicação.

6. CONCLUSÕES

O sistema proposto demonstrou ser capaz de detectar usuários e suas interações com o ambiente de forma automática e ubíqua desde que os usuários portem um pequeno *tag* RFID durante a utilização do ambiente. Isto foi demonstrado através da comparação de registros de interações de usuários feitas no sistema implementado com as interações reais registradas através de observação visual.

Redes de sensores desempenham um papel vital nesse tipo de aplicação. Os ambientes utilizados por pessoas em seu dia-a-dia estão cheio de informações que, se coletadas e analisadas em conjunto, permitem deduzir ações presentes, passadas e futuras do uso deste ambiente. Ações futuras podem ser deduzidas através de algoritmos de predição baseados no contexto das informações coletadas pela rede de sensores. A rede de sensores utilizada fornece a infra-estrutura básica para se fazer essas predições a um baixo custo e poderá ser utilizada em novas pesquisas nessa área.

Sistemas RFID estão em plena ascensão e nos próximos anos é esperada sua aplicação em larga escala para identificação de mercadorias, animais, carros, correspondências a um custo extremamente baixo. Da mesma forma, o RFID também pode se tornar uma forma padrão de identificação de pessoas e neste trabalho foi demonstrada a viabilidade dessa função. A tecnologia de RFID possibilita identificação de pessoas de forma automática e ubíqua e esta característica a torna extremamente interessante em aplicações de localização e rastreamento de pessoas. Não se deve deixar de considerar que a privacidade das pessoas deve ser respeitada e que todos os cuidados devem ser tomados para preservar os direitos de privacidade na ampla difusão destes sistemas.

Apesar de vários grupos de pesquisas desenvolverem algoritmos elaborados para identificar atividades de usuários, construírem casas laboratórios com centenas de sensores, implementarem controles com inteligência artificial e demandarem bastante esforço na identificação de novas aplicações em computação ubíqua, não foram localizados trabalhos que apresentassem métodos para associar interações ocorridas nos ambientes com o usuário que causou a interação. Este trabalho abordou o assunto e apresentou métodos de associar interações ocorridas no ambiente com os usuários que a causaram.

Nesse contexto pode-se listar várias aplicações para o sistema apresentado:

- Controle de utilização de recursos do ambiente de forma individualizado (gasto de energia, uso de equipamentos, alimentos, empréstimo de itens);
- Cobrança automática individualizada (brinquedos de parques de diversões, jogos de cassino);
- Implementação de algoritmos de controle que considerem as pessoas e seu contexto no ambiente;
- Sistemas de segurança (controle de acesso);
- Criação de ambientes interativos;
- Estudos comportamentais e psicológicos de pessoas;
- Educação e advertência de usuários em respostas a certas interações executadas;
- Assistência à saúde (detectar mudanças de hábitos ou comportamentos indicativos de emergência);

Por fim, pode-se identificar trabalhos futuros que poderão dar continuidade a pesquisa realizada:

- Implementação de um sistema de localização de pessoas mais preciso, de baixo custo e ubíquo, permitindo identificar com maior precisão o usuário causador da interação;
- Realizar análises de contexto mais complexas sobre as interações dos usuários, visando o desenvolvimento de algoritmos de detecção de atividades do dia-a-dia (ADL);
- Implementar controladores que considerem o usuário e o contexto de suas interações nas ações de controle realizadas nos ambientes. Por exemplo: controle da iluminação personalizada por atividade e por usuário presente no ambiente;
- Desenvolver um sistema de RFID menos susceptível a atenuação do sinal por obstáculos e com controle mais preciso da área de cobertura;
- Montar um *kit* de rede de sensores que permita que outros grupos de pesquisa utilizem esta mesma infra-estrutura em suas aplicações.
- Expandir o sistema desenvolvido para centenas de sensores dentro de um apartamento inteiro ou em ambientes de trabalho. Novos sensores poderiam ser testados, possibilitando o estudo mais aprofundado das interações humanas com o ambiente e o desenvolvimento de novas aplicações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

AHRI. (2000). Aware Home Research Initiative. Georgia Institute of Technology. Disponível em: <http://www-static.cc.gatech.edu/fce/ahri/projects/index.html>. Acessado em: 12 jun.2007.

AIRE. (2003). MIT Project Aire. Agent-based Intelligent Reactive Environments. Massachusets Institute of Technology. Disponível em: <http://aire.csail.mit.edu/index.shtml>. Acessado em: 12 jun.2007.

AOKI, H.; SCHIELE, B.; PENTLAND, A. (2000) Realtime Personal Positioning System for Wearable Computers. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WEARABLE COMPUTERS. 2000. Atlanta.

APDS (2005). Datasheet: Agilent APDS-9002 Miniature Surface-Mount Ambient Light Photo Sensor. Disponível em:<http://www.agilent.com/semiconductors>. Acessado em 20 set. 2007.

ARROW. (2007). Arrow Electronics Global products provider.Disponível em: <http://www.arrow.com/>. Acessado em 20 set. 2007.

BEAUDIN,J.; TAPIA, E.; INTILLE, S. Lessons learned using ubiquitous sensors for data collection in real homes. In: Extended Abstracts of the 2004 Conference on Human Factors in Computing Systems. New York, NY: ACM Press, 2004, p. 1359-1362. Disponível em: <http://architecture.mit.edu/house_n/papers.html>. Acessado em: 12 jun.2007.

BRUMITT, B.; MEYERS, B.; KRUMM, J.; KERN, A.; SHAFER, S. (2000). **EasyLiving: Technologies for Intelligent Environments**. 12p. (Technical Report). Disponível em: < http://research.microsoft.com/easyliving/publications.aspx>. Acessado em: 12 jun.2007.

CHONG, C. (2003). Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges. Procedings of IEEE. Vol. 91, nº 8. Ago 2003. p.1247-1256.

CLARKSON, B.; PENTLAND. A. (2001) **Predicting Daily Behavior via Wearable Sensors**. MIT. 7p. (Technical Report). Disponível em: <http://cgi.media.mit.edu/vismod/tr_pagemaker .cgi >. Acessado em: 12 jun.2007.

COOK, D.; DAS, S. (2005). **Smart Environments:** Technologies, Protocols, and Applications. New Jersey. 1. ed. John Wiley & Sons. 425p.

DIGGELEN, F. (2002). Indoor GPS theory & implementation. In: IEEE Position, Location & Navigation Symposium. 2002. p. 240-247.

EBV. (2007). EBV Elektronik. Disponível em:<http://www.ebv.com>. Acessado em 20 set. 2007.

*Baseada na norma NBR 6023:2002 com modificação da posição do ano de publicação de acordo com a Comissão de Pós-Graduação EESC-USP.

EMBEDDED. (2004). Embedded interaction group. Munique. Alemanha. Disponível em: <http://www.hcilab.org/index.htm>. Acessado em: 12 jun.2007.

FINKENZELLER, K. (2003). **RFID Handbook**: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. 2. ed. Munique. John Wiley & Sons, Ltd. 434p.

FRIEDEWALD, M.; COSTA, O.; PUNIEB, Y.; ALAHUHTAC, P.; HEINONEN, S. Perspectives of ambient intelligence in the home environment. **Telematics and Informatics**. vol. 22, n. 3, August 2005, p. 221-238.

HARROP, P. (2006). The Price Sensitivy curve for RFID. IDTechEx. Disponível em: <http://www.idtechex.com/products/en/articles/00000488.asp>. Acessado em: 13 jun. 2007.

HIGHTOWER, J.; BORRIELLO, G. (2001.) Location Systems for Ubiquitous Computing. **IEEE Computer**. vol. 34. no.8. p.57-66. Ago.

HOLMQUIST, E.; GELLERSEN, H.; KORTUEM, G.; ANTIFAKOS, S.; MICHAHELLES, F.; SCHIELE, B.; BEIGL, M.; MAZE, R. (2004). Building Intelligent Environments with Smart-Its. **IEEE Computer Graphics & Applications**. January/February 2004. Vol. 24, No. 1, p. 56-64.

HOUSE_N. (1999). House_n The PlaceLab. Massachusets Institute of Technology. Disponível em: <http://architecture.mit.edu/house_n/placelab.html>. Acessado em: 12 jun.2007.

HVAC_APP (2005). SmartMesh Solutions. Building Automation: Small/Medium Commercial HVAC. 2p. Disponível em: <http://www.dustnetworks.com>. Acessado em 12 jun. 2007.

ILYAS, M.; MAHGOUB, I. (2004). **Handbook of sensor networks:** compact wireless and wired sensing. New York. CRC Press. 775p.

INTEL. (2007). Intel Seathle Research Lab. University of Washington. Disponível em <http://www.intel.com/research/network/seattle_collab.htm>. Acessado em: 12 jun.2007.

INTELLIGENTSPACE. (2001). Intelligent Space Project. Hashimoto Lab, Univiversity of Tokyo, Japan. Disponível em: <http://dfs.iis.u-tokyo.ac.jp/ index.php?FrontPage >. Acessado em: 12 jun.2007.

INTILLE, S. et al. (2005). The PlaceLab: a live-in laboratory for pervasive computing research. Proceedings of Pervasive. 2005 Video Program. May, 2005. Disponível em <http://architecture.mit.edu/house_n/papers.html >. Acessado em: 12 jun.2007.

INTILLE, S.; LARSON, K.; TAPIA, E. (2003). Designing and evaluating technology for independent aging in the home. Proceedings of the International Conference on Aging, Disability and Independence. Disponível em <http://architecture.mit.edu/house_n/papers.html >. Acessado em: 12 jun.2007.

IROOM. (1999). Stanford University. Computer Science. Project Overview. Disponível em: <http://iwork.stanford.edu/>. Acessado em: 12 jun.2007.

JAIN, A. K.; BOLLE, R.; PANKANTI, S. (2002). **BIOMETRICS**: Personal Identification in Networked Society. New York. 1. ed. Kluwer Academic Publishers. 422p.

KAUSHIK, P. (2005). **The Design and Evaluation of a Mobile Handheld Intervention for Providing Context-Sensitive Medication Reminders.** 124f. Dissertação (Mestrado). Media Arts and Sciences, School of Architecture and Planning, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2005. Disponível em: <http://architecture.mit.edu/house_n/ papers.html>. Acesso em: 1 jun.2007.

KURS, A.; KARALIS, A;, MOFFATT, R.; JOANNOPOULOS, J.; FISHER, P.; SOLJACIC, M. (2007). Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances. **Science Express Research Articles.** Jun. Disponível em: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/1143254v1>. Acessado em 13 Jun.2007.

KOLOKOTSA, D. et al. (2001). **Advanced fuzzy logic controllers design and evaluation for buildings' occupants thermal-visual comfort and indoor air quality satisfaction**. Energy and Buildings, vol. 33, n. 3, p. 531-543.

LAROUSSE. (2004). Dicionário Ilustrado da língua Portuguesa. Ed. Larousse. 1 ed. 977p.

LEMIEUX, N.; LUTFIYYA, H. (2006). Reading Course on Indoor Location Systems. Department of Computer Science. The University of Western Ontario. Disponível em: <http://www.csd.uwo.ca/~nplemieu/readingCourse/IndoorLocationReadingCours e .html>. Acessado em: 12 jun.2007.

LOPEZ, L. (2005). **A Sensor Toolkit to Facilitate Context-Awareness for Just-In-Time Questioning**. 152f. Dissertação (Mestrado). Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2005. Disponível em: <http://architecture.mit.edu/house_n/ papers.html>. Acesso em: 1 jun.2007.

MAGNETICSTRIP. (2007). Magnetic Strip Card. Wikipedia, The Free encyclopedia. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_stripe_card>. Acessado em 13 jun.2007.

MAVHOME. (2003). UTA/CSE. Descrição de objetivos. Disponível em: <http://cygnus.uta.edu/mavhome/files/description/p.html#tex2html1>. Acessado em: 12 jun.2007.

METZE, F. et al. (2005) The "FAME" Interactive Space. 2nd Joint Workshop on Multimodal Interaction and Related Machine Learning Algorithms, p. 4 .2005. Disponível em: <http://www-prima.imag.fr/prima/pub/Publications/index.php?pg=3 >. Acessado em: 12 jun.2007.

MICROCHIP. (2007). Microchip Technology Inc. Disponível em: <http://www.microchip.com>. Acessado em 20 set. 2007.

MOBILE. (1999). Mobile e Pervasive Computing. University of Florida. Disponível em: <http://www.icta.ufl.edu/projects_B.htm>. Acessado em: 12 jun.2007.

MORI, T.; SUEMASU, Y. NOGUCHI, H. SATO, T. (2004) Multiple people tracking by integration distributed floor pressure sensors and RFID systems. In: IEEE Internacional Conference on Systems, Man and Cybernetics. Vol. 6. p. 5271-5278.

MOZER, M. (2005). Lessons from an adaptive home. In: COOK, D.; DAS, S. **Smart Environments:** Technologies, Protocols, and Applications. New Jersey. 1. ed. John Wiley & Sons. 425p.

NAWYN, J. (2005). **A Persuasive Television Remote Control for the Promotion of Health and Well-Being.** 132f. Dissertação (Mestrado). Media Arts and Sciences, School of Architecture and Planning, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2005. Disponível em: <http://architecture.mit.edu/house_n/ papers.html>. Acesso em: 1 jun.2007.

OXYGEN. (2004). MIT Project Oxygen. Massachusets Institute of Technology. Disponível em: <http://oxygen.lcs.mit.edu/Overview.html>. Acessado em: 12 jun.2007.

PENTLAND, A. (2005). Perceptual Environments. In: COOK, D.; DAS, S. **Smart Environments:** Technologies, Protocols, and Applications. New Jersey. 1. ed. John Wiley & Sons. 425p.

PHILIPOSE, M. et al. (2004). Infering Activities from interactions with objects. **IEEE Pervasive Computing.** vol. 3, no. 4, p. 50-57. out-dez. 2004.

PRIMA. (2001). Perception, recognition and integration for interactive environments. Gravir Lab, França. Disponível em: <http://www-prima.imag.fr/prima/pub/prima/ presentation.php>. Acessado em: 12 jun.2007.

PYXOS (2006). Technical Overview. 54p. Disponível em: <http://www.echelon.com>. Acessado em 12 jun. 2007.

RANKL, W.; EFFING, W. (2002). **Smart Card Handbook**. 3. ed. Munique. John Wiley & Sons, Ltd. 1123p.

REEDSENSOR. (2007). Reed Switch and Reed Sensor Faq. Disponível em:<http://www.reed-sensor.com/Notes/General_Reed_Switch_Theory.htm>. Acessado em 20 set. 2007.

REEDSWITCH. (2007). Reedswitch. Disponível em: <http://www.kpsec.freeuk.com/ photos/rapid/reedsw.jpg>. Acessado em 20 set. 2007.

ROBERT, M. (2005). TAG WARS. Forbes.com . Disponível em: <http://www.forbes.com/logistics/2005/11/07/rfid-tags-bargains-cx_rm_1107rfid.html> Acessado em: 13 jun.2007.

ROBERTS, C. (2006). Radio Frequency Identification (RFID). **Computers & Security**. Vol. 25. no. 1. p.18-26. Elsevier. fev. 2006.

RONDONI, J. (2003). **Context-Aware Experience Sampling for the Design and Study of Ubiquitous Technologies.** 84f. Dissertação (Mestrado). Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2003. Disponível em: <http://architecture.mit.edu/house_n/ papers.html>. Acesso em: 1 jun.2007.

ROOMWARE. (2003). Ambient Roomware. Fraunhofer-IPSI. Darmstadt, Alemanha. Disponível em: <http://www.ipsi.fraunhofer.de/ambiente/english/projekte/projekte/ roomware.html>. Acessado em: 12 jun.2007.

RUIZ, L. et al. (2004). **Arquitetura para redes de sensores sem fio.** UFMG. 52p. (Trabalho técnico). Disponível em: <http://www.sensornet.dcc.ufmg.br/pdf/mc-sbrc2004.pdf >. Acessado em 12 Jun.2007.

SATYANARAYANAN, M. (2001). Pervasive Computing: Vision and Challenges. **IEEE Personal Communications**.vol. 8, no. 4, p.10-17. ago. 2001.

SCHICKHUBER, G.; MCCARTHY, O. (1997). Distributed fieldbus and control network systems. **Computing & Control Engineering Journal**. IEEE. Vol. 8. pag. 21-32. fev. 1997.

SCHMIDT, A. (2002). **Ubiquitous Computing – Computing in Context.** 312f. Tese (Doutorado). Computing Department, Lancaster University, U.K. Nov, 2002.

SCHWARTZ, S.; PENTLAND, A. (1999). **The Smart Vest: Towards a Next Generation Wearable Computing Platform.** July. (Technical Report). Disponível em: <http://cgi.media.mit.edu/vismod/tr_pagemaker.cgi>. Acessado em 12 Jun.2007.

SEGANTINE, P. (2005). **GPS**: Sistema de Posicionamento Global. 1 ed. São Carlos. EESC/USP. 364p.

SHT11 (2002). Datasheet: SHT1x Humidity & Temperature Sensmitter. Disponível em:<http://www.sensirion.com>. Acessado em 20 set. 2007.

SMARTMESH (2006).Product Description of SmartMesh M2030. 2p. Disponível em: <http://www.dustnetworks.com>. Acessado em 12 jun. 2007.

STANDFORD, V. (2003). Pervasive Computing Goes the Last Hundred Feet with RFID Systems. **IEEE Pervasive Computing.** Vol. 2. no 2. p.9-14. abr/jun,2003.

STOJMNOVIC, I. (2005). **Handbook of Sensor Networks** - Algorithms and Architectures. 1 ed. New Jersey. John Wiley & Sons. 553p.

TANENBAUM, A. (2003). **Computer Networks**. 4. ed. New Jersey. Prentice Hall. 671p.

TAPIA, E. (2003). **Activity Recognition in the Home Setting Using Simple and Ubiquitous Sensors.** 136f. Dissertação (Mestrado). Media Arts and Sciences, School of Architecture and Planning, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2003. Disponível em: <http://architecture.mit.edu/house_n/ papers.html>. Acesso em: 12 jun.2007.

TAPIA, E.; MARMASSE, N.; INTILLE, S.;LARSON, K. (2004). MITes: Wireless portable sensors for studying behavior. In: Ubicomp. Proceedings of Extended Abstracts. Disponível em <http://architecture.mit.edu/house_n/papers.html >. Acessado em: 12 jun.2007.

TIBIRIÇÁ, A. (2004). **Um estudo sobre os sistemas de iluminação automáticos e os sistemas de controle distribuído para automação predial.** 131f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

TIBIRIÇÁ, C.; TIBIRIÇÁ, A.; PASSARINI, L.; PINOTTI, M. (2007). Sensor networks applied to users identification and to detect users interactions with the environment – (context aware application). Submetido ao: 19th International Congress of Mechanical Engineering. COBEM. Brasilia. Nov.

TMPN3120.(2003). Neuron ® Chip For Distributed Intelligent Control Networks (LONWORKS®). Disponível em:<http://www.semicon.toshiba.co.jp/docs/datasheet/en/ASSP/TMPN3120FE3M_TMPN3120FE3U_en_datasheet_030701.pdf>. Acessado em 20 set. 2007.

TROLLEYSCAN. (2007). Trolleyponder/Ecotag. Disponível em: <http://trolleyscan.com/>. Acessado em 12 jun. 2007.

TSMP_PROTOCOL. (2006). Technical overview of time Synchronized Mesh Protocol (TSMP). Disponível em: <http://www.dustnetworks.com>. Acessado em 12 jun. 2007.

TSOP1738. (2001). Datasheet: Photo Modules for PCM Remote Control Systems. Disponível em:<http://www.vishay.com>. Acessado em 20 set. 2007.

WEISER, M. (1991). The computer of the 21st century. **Scientific American**, September.vol. 265. n. 9. p.66–75.

WEISER, M. (1993). Some computer science issues in ubiquitous computing. **Communications of the ACM.** vol. 36, n. 7, p.75–84.

WEISER, M.; BROWN, J. (1996). The coming age of calm technology. Disponível em: <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/acmfuture2endnote.htm>. Acessado em: 12 jun. 2007.

WILSON, D. (2004). **Simultaneous Tracking & Activity Recognition (STAR) Using Many Anonymous, Binary Sensors.** 47p. Proposta de tese - The Robotics Institute, Carnegie Mellon University. Pittsburgh, PA. Disponível em: <http://www.cs.cmu.edu/~dwilson/papers/thesisproposal.pdf>. Acessado em: 13 jun. 2007.

WILSON, D.; ATKESON, C. (2004). Automatic health monitoring using many anonymous, binary sensors. 4p. Workshop. Carnegie Mellon University. Pittsburgh, PA. Disponível em: <http://www.cs.cmu.edu/~dwilson/papers/wilsonCHI2004WS.pdf> . Acessado em: 13 jun. 2007.

YOUNGBLOOD, G.; HOLDER, L.; COOK, D. (2005). Managing Adaptive Versatile Environments. 3rd IEEE Internacional Conf. on Pervasive computing and Communications (PerCom), p. 351-360. mar 2005.

YUN, Y. (2003.) **The 123 of Biometric Technology.** (Technical Report). Disponível em: <http://www.itsc.org.sg/synthesis/2002/biometric.pdf>. Acessado em: 12 Jun.2007.

ZABADANI, H.; HELAL, A.; YANG, H. (2007). A Mobile Sensor Platform Approach to Sensing and Mapping Pervasive Spaces and their Contents. Submetido ao PerCom 2007 – Fifth IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communication, to be held in White Plains, NY, March 2007.