

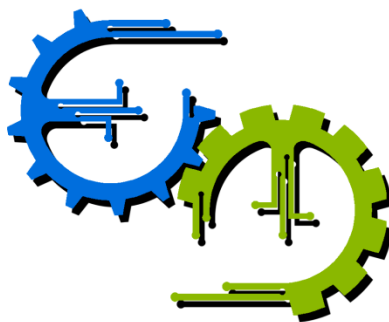


TRABALHO DE GRADUAÇÃO

RFID PASSIVA NO RASTREAMENTO DE USUÁRIOS PARA A AUTOMAÇÃO PREDIAL

Filipe Ribeiro de Oliveira
Frederico Silva de Paula Rocha

Brasília, Abril de 2013



**ENGENHARIA
MECATRÔNICA**
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade de Tecnologia

Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

RFID PASSIVA NO RASTREAMENTO DE USUÁRIOS PARA A AUTOMAÇÃO PREDIAL

Filipe Ribeiro de Oliveira

Frederico Silva de Paula Rocha

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de
Engenheiro de Controle e Automação.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ing. Adolfo Bauchspiess, UnB/ ENE
Orientador

Prof. M. Eng. Lélío Ribeiro Soares Junior, UnB/ENE
Examinador interno

Prof. Dr. Eng. Renato Alves Borges, UnB/ENE
Examinador Interno

Brasília, Abril de 2013

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, FILIPE RIBEIRO DE
ROCHA, FREDERICO SILVA DE PAULA
RFID PASSIVA NO RASTREAMENTO DE USUÁRIOS PARA A AUTOMAÇÃO
PREDIAL

[Distrito Federal, 2013]

xi, 112p., 297 mm (FT/UnB, Engenheiro, Controle e Automação, 2013). Trabalho de
Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

1. Automação
2. Rastreamento

I. Mecatrônica/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, Filipe Ribeiro de

ROCHA, Frederico Silva de Paula (2013). RFID Passiva No Rastreamento De
Usuários Para A Automação Predial. Trabalho de Graduação em Engenharia de
Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº 15, Faculdade de Tecnologia,
Universidade de Brasília, Brasília, DF, 112p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORES: Filipe Ribeiro de Oliveira & Frederico Silva de Paula Rocha.

TÍTULO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO: RFID Passiva No Rastreamento De
Usuários Para A Automação Predial.

GRAU: Engenheiro de Controle e Automação

ANO: 2013

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste
Trabalho de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para
propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de
publicação e nenhuma parte desse Trabalho de Graduação pode ser
reproduzida sem autorização por escrito dos autores.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos à nossas famílias, que sempre foram nosso porto seguro, no qual buscamos abrigo e força para vencer as tempestades.

Ao nosso orientador, professor Adolfo Bauchspiess, que se mostrou sempre presente e disposto a ajudar nas dificuldades encontradas durante o período da graduação, não se limitando a este trabalho.

Ao ex-aluno e amigo Ênio Prates Vasconcelos Filhos, que nos guiou nos primeiros contatos com a tecnologia usada neste trabalho e nos ajudou fornecendo as etiquetas usadas para os experimentos realizados.

Aos professores que, durante o curso de Engenharia Mecatrônica, compartilharam seus conhecimentos.

Aos colegas, pelo companheirismo e força durante as manhãs, tardes e noites de estudo.

Aos amigos, sempre presentes e pacientes com nossas ausências devido aos compromissos relacionados com nosso curso.

Filipe R. Oliveira e Frederico S. de Paula Rocha

Agradeço também à minha namorada, Ligia R. Rocha, que me acompanhou, apoiou e ajudou desde o início do curso até o término dele e continua a acompanhar.

Filipe R. Oliveira

“A juventude não foi feita para o prazer, mas sim para o heroísmo”

Paul Claudel

RESUMO

Foi desenvolvido neste trabalho um sistema de rastreamento de usuários, a partir da tecnologia de RFID passiva, para ser usado pela automação predial, também desenvolvida neste trabalho, para monitorar três dos ambientes do laboratório LARA/UnB.

Para o sistema de rastreamento de usuários foram usadas três leitoras e cinco antenas de RFID. Foram desenvolvidos, ainda, dois programas em C# que operam sobre um banco de dados SQL para manterem o sistema de rastreamento. Para a automação predial proposta atuar nos ambientes foram construídos três módulos baseados em Arduino e comunicando via protocolo Modbus sobre rede sem fio ZigBee. O ScadaBR é o supervisor usado pela automação.

O sistema de rastreamento proposto opera monitorando a ocorrência de eventos de mudança de ambiente de cada usuário. Neste sistema, cada usuário deve possuir, entre a palmilha e o solado do calçado, uma etiqueta de RFID passiva. Para identificar os eventos de mudança de ambiente, uma antena de RFID foi instalada no chão, no caminho de passagem dos usuários na fronteira de dois ambientes monitorados. A cada ciclo de requisição de leitura feita, as leitoras retornam os números EPC das etiquetas lidas pelas antenas. Como cada etiqueta identifica um único usuário e a aplicação “sabe” o ambiente anterior do usuário, o sistema é capaz de identificar qual o ambiente de destino do usuário.

Resultados satisfatórios, até 84% de acertos, foram obtidos pelo sistema de rastreamento proposto, validando o uso da tecnologia de RFID passiva para o rastreamento de usuários que tenham estas etiquetas identificadoras nos calçados. Percebemos ainda que, para esta aplicação, a etiqueta é o componente crítico e, como tal, deve ser corretamente escolhido observando, principalmente, a sensibilidade e o material de construção.

Palavras-chave: RFID, localização, rastreamento, automação predial, etiqueta no calçado, ZigBee, Modbus, ScadaBR.

ABSTRACT

On this paper was developed a user tracking system, from passive RFID technology, to be used for building automation, also developed on this work, to monitor three of the environments of the laboratory LARA / UNB.

Three RFID readers and five RFID antennas were used for the user tracking system. Two C# programs that operate over a SQL database were, also, developed, in order to maintain the tracking system. To the proposed building automation act on the environments, were built, based on Arduinos, three modules communicating through Modbus protocol over wireless ZigBee. The ScadaBR were the supervisory used by the automation.

The proposed tracking system operates by monitoring the occurrence of a change of environment for each user. In this system, each user must have, between the insole and outsole of the shoe, a passive RFID tag. To identify events of change of environment, an RFID antenna were installed on the floor, on the pathway of the users on the border of two environments monitored. On each reading requisition cycle, the readers return the EPC numbers of tags read by the antenna. As each tag identifies a single user and the application "knows" the previous environment of the user, the system is able to identify the destination environment of the user.

Satisfactory results, up to 84% correct results, were obtained by the proposed tracking system, validating the use of passive RFID technology for tracking users who have these identifying tags on their shoes. It was noticed that, for this application, the tag is the critical component, and as such must be chosen correctly observing, particularly, sensitivity and material of construction.

Key-words: RFID, location, tracking, building automation, ZigBee, tag on shoe, Modbus, ScadaBR.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivo do trabalho	2
2	Rastreamento na Automação Predial	3
2.1	Tecnologias de Rastreamento	4
2.1.1	Operação por Radiofrequência	4
2.1.2	Operação por Infravermelho	4
2.1.3	Operação por Ultrassom	5
2.2	Técnicas de Rastreamento	5
2.2.1	Triangulação.....	5
2.2.2	Análise de Cenário.....	6
2.2.3	Proximidade	6
3	Tecnologia de Identificação por Radiofrequência	7
3.1	Componentes de um Sistema Padrão	7
3.1.1	Etiqueta	8
3.1.2	Leitora	12
3.1.3	Antena	14
3.1.4	Middleware	17
3.2	Frequências de Operação	19
3.3	Padronização.....	22
3.3.1	EPCglobal	22
4	Rastreamento de Usuários para a Automação Predial	25
4.1	O Sistema Proposto	25
4.2	Material Usado	28
4.2.1	Hardware.....	28
4.2.2	Software	35
4.3	Produzido	42
4.3.1	Aplicação Corporativa	42
4.3.2	Aplicação Middleware	45

4.3.3	Banco de Dados Baseado em SQL	49
4.3.4	Aplicação no ScadaBR	52
4.4	Resultados.....	58
4.4.1	Investigação do Campo de Leitura da Antena.....	58
4.4.2	Ajuste da Potência do Sinal Emitido Pela Leitora.....	60
4.4.3	Operação do Sistema Proposto: Um Usuário.....	61
4.4.4	Operação do Sistema de Automação: Vários Usuários	70
4.5	Análise dos Resultados.....	78
5	Conclusão.....	81
5.1	Perspectivas	82
	Bibliografia.....	83
Anexo A	Tecnologias de Rastreamento	86
Anexo B	Surgimento e Evolução da Tecnologia de RFID.....	90
Anexo C	Leitora de RFID.....	97
Anexo D	Frequências de Operação de Sistemas RFID.....	100
Anexo E	Padronização de Sistemas RFID.....	103
Anexo F	Telas da Aplicação Corporativa	108

Lista de Figuras

<i>Figura 1-1 Princípio de operação do sistema de rastreamento a ser desenvolvido.</i>	2
<i>Figura 3-1 Componentes de um sistema mínimo de RFID, adaptada de [1].</i>	8
<i>Figura 3-2 Etiqueta de RFID passiva, destacando antena, CI e substrato.</i>	9
<i>Figura 3-3 Etiqueta de RFID ativa, destacando bateria e circuitos extras, [2].</i>	10
<i>Figura 3-4 Sequência de eventos internos da etiqueta passiva após a energização, [2].</i>	11
<i>Figura 3-5 Leitora RFID: ponte entre a etiqueta e a aplicação, [3].</i>	12
<i>Figura 3-6 Topologia interna de uma leitora, segundo a construção física, adaptada de [3].</i>	13
<i>Figura 3-7 Antenas para sistemas de RFID, [5].</i>	15
<i>Figura 3-8 Antena de polarização linear modelo Threshold, da fabricante Impinj, [5].</i>	15
<i>Figura 3-9 Mapeamento da pegada da antena Threshold, da fabricante Impinj, [5].</i>	17
<i>Figura 3-10 Padrão de radiação da antena Threshold, da fabricante Impinj. Padrões de radiação para os planos: a) X-Y, b) X-Z e c) Y-Z, [5].</i>	17
<i>Figura 3-11 Estrutura modular de um Middleware, adaptada de [4].</i>	18
<i>Figura 3-12 Características de um sistema de RFID relativas à frequência de operação.</i>	21
<i>Figura 3-13 Estrutura do Número EPC, [6].</i>	22
<i>Figura 4-1 Distribuição dos equipamentos usados por este trabalho no ambiente de teste.</i>	26
<i>Figura 4-2 Sistema de rastreamento de usuários a ser utilizado na automação predial.</i>	27
<i>Figura 4-3 Leitora RFID Impinj Speedway R420, [9].</i>	28
<i>Figura 4-4 Antena de RFID Impinj Threshold aberta.</i>	30
<i>Figura 4-5 Etiqueta de RFID Rafsec Web.</i>	30
<i>Figura 4-6 Materiais usados na construção da Etiqueta de RFID Rafsec Web, [11].</i>	31
<i>Figura 4-7 Arduino Uno, [12].</i>	32
<i>Figura 4-8 XBee com antena, [13].</i>	33
<i>Figura 4-9 Shield XBee para interface com o Arduino Uno, [14].</i>	33
<i>Figura 4-10 Adaptador CON-USBBEE.</i>	34
<i>Figura 4-11 Detalhes dos LEDs do CON-USBBEE.</i>	34
<i>Figura 4-12 LM35: sensor de temperatura, [15].</i>	35
<i>Figura 4-13 Resistor sensível à luz, [16].</i>	35
<i>Figura 4-14 X-CTU, usado para configuração do modulo XBee.</i>	40
<i>Figura 4-15 X-CTU, usado para configuração do modulo XBee.</i>	40
<i>Figura 4-16 Logo do ScadaBR, [23].</i>	41
<i>Figura 4-17 Telas de configuração da aplicação corporativa.</i>	43
<i>Figura 4-18 Tela inicial da aplicação corporativa.</i>	44
<i>Figura 4-19 Inserção da Aplicação Corporativa no sistema de rastreamento e automação propostos.</i>	44
<i>Figura 4-20 Tela inicial da aplicação Middleware.</i>	46
<i>Figura 4-21 Inserção da Aplicação Middleware no sistema de rastreamento e automação propostos.</i>	47

<i>Figura 4-22 Organização do Bando de Dados: relação entre as entidades</i>	50
<i>Figura 4-23 Inserção da Aplicação ScadaBR no sistema de rastreamento e automação propostos</i>	53
<i>Figura 4-24 Criação do Data Source no ScadaBR</i>	53
<i>Figura 4-25 Configuração do Data Source no ScadaBR</i>	54
<i>Figura 4-26 Data Source com os Data Points Modbus Serial RTU no ScadaBR</i>	54
<i>Figura 4-27 Data Source com os Data Points Modbus TCP/IP no ScadaBR</i>	55
<i>Figura 4-28 Point Links, logica implementada no ScadaBR</i>	55
<i>Figura 4-29 Watch List, interface com as variáveis utilizadas no ScadaBR</i>	56
<i>Figura 4-30 Interface Gráfica, interface com as variáveis essenciais para a aplicação do ScadaBR</i>	56
<i>Figura 4-31 Módulo composto por Arduino, shield XBee, XBee, LED's e LM35 usado para os experimentos</i>	57
<i>Figura 4-32 Grade para investigação do campo de leitura da antena de RFID modelo Threshold</i>	59
<i>Figura 4-33 Caminho percorrido pelo usuário no terceiro experimento</i>	62
<i>Figura 4-34 Telas dos vídeos obtidas para o cenário 5 do terceiro experimento</i>	64
<i>Figura 4-35 Telas dos vídeos obtidas para o cenário 5 do terceiro experimento</i>	65
<i>Figura 4-36 Tela da aplicação middleware para o cenário 5 do terceiro experimento</i>	66
<i>Figura 4-37 Telas dos vídeos obtidas para o cenário 6 do terceiro experimento</i>	67
<i>Figura 4-38 Telas dos vídeos obtidas para o cenário 6 do terceiro experimento</i>	68
<i>Figura 4-39 Tela da aplicação middleware para o cenário 6 do terceiro experimento</i>	69
<i>Figura 4-40 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 1, experimento 4, exemplo 1</i>	71
<i>Figura 4-41 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 1, experimento 4, exemplo 2</i>	72
<i>Figura 4-42 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 2 experimento 4, exemplo 1</i>	73
<i>Figura 4-43 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 2, experimento 4, exemplo 2</i>	74
<i>Figura 4-44 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 2, experimento 4, exemplo 3</i>	75
<i>Figura 4-45 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 2 experimento 4, exemplo 4</i>	76
<i>Figura 4-46 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 2, experimento 4, exemplo 5</i>	77
<i>Figura Anexo A 1 Sistema de Rastreamento a partir da tecnologias de UWB, [25]</i>	86
<i>Figura Anexo A 2 Etiqueta (crachá eletrônico) de um sistema de rastreamento baseado na tecnologia Active Badge, [27]</i>	89

<i>Figura Anexo B 1</i> Uso da radiação retroespalhada para comunicar com o operador do radar, [2].....	91
<i>Figura Anexo B 2</i> Evolução dos Sistemas de RFID (1880-1960), [7].....	93
<i>Figura Anexo B 3</i> Evolução dos Sistemas de RFID (1960-1990), [7].....	94
<i>Figura Anexo B 4</i> Envio total de etiquetas: 2002 vs 2007, [28].	96
<i>Figura Anexo B 5</i> Evolução dos Sistemas de RFID (1990-2003), [7].....	96
<i>Figura Anexo C 1</i> Topologia interna de uma leitora, abordagem segundo a operação sobre o sinal, [2].	99
<i>Figura Anexo D 1</i> Mapeamento mundial das faixas de frequências regulamentadas, [2].	100
<i>Figura Anexo E 1</i> Organização da rede EPCglobal Network, [6].	106
<i>Figura Anexo E 2</i> Classificação das Etiquetas EPC, [4].	106
<i>Figura Anexo F 1</i> Tela “Tela Ambiente” da Aplicação Corporativa.....	108
<i>Figura Anexo F 2</i> Tela “Gerente Ambientes” da Aplicação Corporativa.....	109
<i>Figura Anexo F 3</i> Tela “Gerente Usuários” da Aplicação Corporativa.....	110
<i>Figura Anexo F 4</i> Tela “Gerente Leitoras” da Aplicação Corporativa.	111
<i>Figura Anexo F 5</i> Tela “Gerente Histórico” da Aplicação Corporativa.....	112

Lista de Tabelas

<i>Tabela 3-1</i> Faixas de frequência mais comumente usadas em sistemas de RFID, [2].....	19
<i>Tabela 3-2</i> Características das faixas de frequência de operação, [4].	20
<i>Tabela 3-3</i> Comportamento dos materiais diante das ondas de radiofrequência, [6].	21
<i>Tabela 4-1</i> Formato da mensagem Modbus-RTU, [16].	39
<i>Tabela 4-2</i> Exemplos de funções mais usadas em implementações Modbus, [16].	39
<i>Tabela 4-3</i> Configuração dos XBee's.	41
<i>Tabela 4-4</i> Resultado da investigação do campo de leitura da antena.	60
<i>Tabela 4-5</i> Resultado do ajuste de potência do sinal emitido pela leitora.....	61
<i>Tabela 4-6</i> Resultado da operação do sistema proposto: um usuário.	69
<i>Tabela Anexo E 1</i> Classificação das Etiquetas EPC, [4].	107

Lista de Siglas, Abreviaturas e Acrônimos

CLP	Controlador Lógico Programável.
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i> (Verificação de Redundância Cíclica).
EPC	<i>Electronic Product Code</i> (Código Eletrônico de Produto).
FET	<i>Field Effect Transistor</i> (Transistor de Efeito de Campo).
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global).
ICSP	<i>In Circuit Serial Programming</i> (Programação Serial no Circuito).
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> (Ambiente de desenvolvimento Integrado).
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i> (Industrial, Científica e Médica).
ITF	<i>Interrogator Talks First</i> (Interrogador Fala Primeiro).
LARA	Laboratório de Automação e Robótica.
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i> (Resistor Dependente de Luz).
PoE	<i>Power Over Ethernet</i> (Energia Através da Ethernet).
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> (Modulação por Largura de Pulso).
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> (Identificação por Radiofrequência).
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i> (Indicador da Intensidade do Sinal Recebido).
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i> (Unidade Terminal Remota).
RX/TX	<i>Receiver/Transmitter</i> (Recebedor/Transmissor).
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> (Controle de Supervisão e Aquisição de Dados).
SDK	<i>Software Development Kit</i> (Pacote de Desenvolvimento de Software).
SGDB	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados.
SQL	<i>Structured Query Language</i> (Linguagem de Consulta Estruturada).
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i> (Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo de Internet).
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i> (Receptor/ Transmissor Assíncrono Universal).
Wi-Fi	<i>Wireless local area network</i> (WLAN), baseado no padrão IEEE 802.11.
C#	C Sharp é uma linguagem de programação orientada a objetos.
F#	Linguagem de programação multiparadigma.

1 Introdução

A automação predial, como conhecemos hoje, é o resultado da integração de controles específicos, isolados, desenvolvidos anteriormente para cada uma das utilidades, tais como: sistema de controle de acesso, sistemas de detecção e alarme de incêndio e sistema de gerenciamento de energia (controle de equipamentos de ar condicionado, elevadores, escadas rolantes e etc.). Essa integração foi viabilizada pela microinformática, na década de 80, que permitiu integrar as funções de supervisão, controle e segurança de cada uma das utilidades. Esta integração foi, e ainda é, feita a partir de controladores microprocessados, presentes em cada uma das utilidades, conectados via rede de dados com um servidor responsável pela operação do sistema de automação predial.

Os sistemas de automação predial podem ser divididos em dois grandes grupos:

- Supervisão e controle de utilidades: responsável pelo controle de instalações elétricas, instalações de refrigeração e aquecimento e utilidades como elevador e escada rolante;
- Segurança: controle de acesso, detecção e alarme de incêndio e monitoração por vídeo;

O presente trabalho, partindo da automação predial como finalidade prática, propõe e desenvolve um sistema inovador de identificação e rastreamento de usuários por radiofrequência a ser usado para o gerenciamento de utilidades e energia.

1.1 Motivação

Trabalhos anteriores, desenvolvidos no Laboratório de Automação e Robótica (LARA), implementaram sistemas de identificação e rastreamento de usuários por meio da tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID - *Radio Frequency Identification*) ativa. O rastreamento desenvolvido nesses trabalhos implementaram as técnicas de triangulação, e algumas de suas variantes, e/ou análise de cenários. Essas estratégias, usando do maior alcance da tecnologia de RFID ativa, não obtiveram grande sucesso devido à grande

interferência eletromagnética existente no laboratório e, ainda, devido às etiquetas ativas não serem omnidirecionais.

1.2 Objetivo do trabalho

Usando da tecnologia de RFID passiva e da técnica de rastreamento por proximidade, o presente trabalho tem por objetivo implementar um sistema de rastreamento de usuários a ser usado para automação predial, também desenvolvida por este trabalho, no LARA. A automação em questão deve fazer com que os ambientes se adaptem à quantidade de usuário neles presente: ambientes vazios devem estar com luzes e ar condicionado desligados e ambientes com um ou mais usuários devem estar com luzes e ar condicionado ligados, sendo que este, quando possível, deverá se adequar segundo a variação da carga térmica oriunda de cada usuário.

O sistema de rastreamento de usuários a ser implementado deverá operar observando os eventos de mudança de ambiente. Para tanto, cada usuário deve possuir, entre a palmilha e o solado do calçado, uma etiqueta de RFID passiva. A cada fronteira de dois ambientes deve ser feita a leitura das etiquetas (Figura 1-1). Como cada etiqueta identifica um único usuário e a aplicação deve “saber” o ambiente anterior do mesmo, o sistema deve ser capaz de identificar o ambiente de destino de cada usuário.

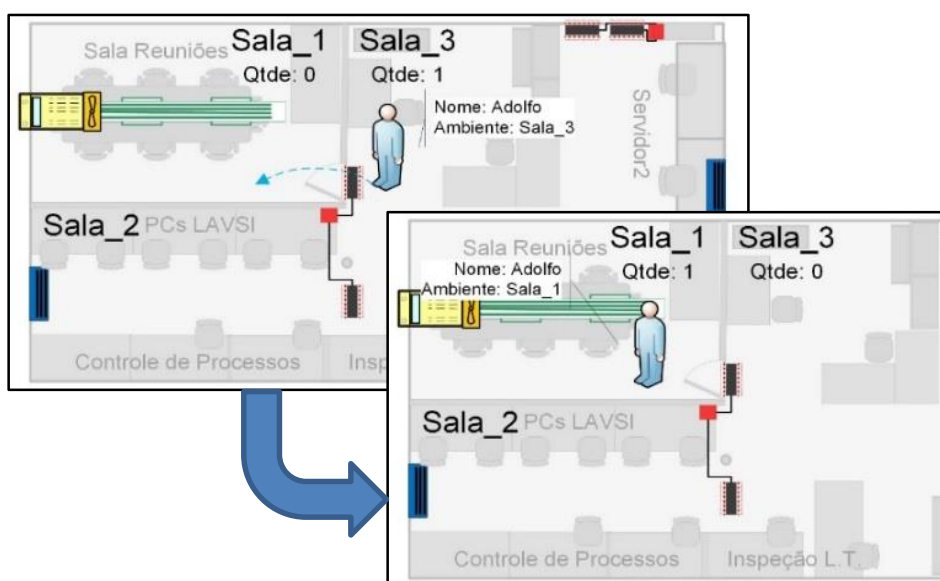


Figura 1-1 Princípio de operação do sistema de rastreamento a ser desenvolvido.

2 Rastreamento na Automação Predial

A identificação e o rastreamento de pessoas, animais e produtos não é algo recente. É possível acompanhar, ao longo da história, a aplicação de diferentes tecnologias para essas finalidades.

As tecnologias de rastreamento, nos dias atuais, estão se tornando cada vez mais acessíveis e populares. Com o auxílio de um navegador GPS, por exemplo, qualquer pessoa pode usar da rede de satélites para encontrar sua posição e traçar rotas até o destino desejado. Ou ainda, as possibilidades se tornam quase ilimitadas se a pessoa possuir um *smartphone* com GPS incorporado e/ou sistema de localização via rede de telefonia. Aplicações específicas permitem o telefone operar como navegador GPS de forma superior ao equipamento dedicado. Por ter acesso à rede de dados, o *smartphone* é capaz de acessar, em tempo real, as condições do trânsito nas vias, por exemplo, e traçar a melhor rota. Além desta aplicação, o rastreamento por meio do telefone tem sido usado como uma ferramenta social. Hoje, por meio de aplicações específicas, a pessoa é capaz de identificar o local o qual se encontra, fazendo um *check-in*, saber onde estão seus amigos e, no caso de perder ou ter o *smartphone* furtado, é possível identificar a localização do dispositivo.

No entanto, devido ao presente trabalho tratar de ambientes internos, o GPS e a localização via rede de telefonia não são tecnologias indicadas visto que as paredes dificultam a passagem do sinal dos satélites, no caso do GPS. No caso da rede de telefonia, necessita-se de, no mínimo, o sinal de 3 antenas para recuperar determinada posição, o que quase nunca se tem.

O rastreamento em ambientes internos é uma constante na robótica móvel e muitas soluções satisfatórias existem para tal finalidade. Essas soluções, entretanto, dificilmente são portadas, diretamente, para o rastreamento de pessoas. O motivo de tal incompatibilidade é a portabilidade, ou nível de intrusão, dos equipamentos necessários para o sistema de rastreamento. Enquanto robôs podem embarcar equipamentos relativamente grandes, as pessoas devem carregar algo que seja leve e pequeno de forma a ser imperceptível. Ou ainda, quando possível, o sistema de rastreamento deve usar de equipamento ou objetos que a pessoa normalmente porta, tal como um celular ou um crachá.

2.1 Tecnologias de Rastreamento

Um sistema de rastreamento ideal para ambientes internos deve ser tolerante a obstruções, possuir alta taxa de atualização, ter grande precisão, ser robusto e ter baixo custo. No entanto, de acordo com a tecnologia usada para o rastreamento, aproxima-se mais ou menos de algumas dessas características enquanto se afasta de outras. As tecnologias normalmente usadas no rastreamento podem ser classificadas segundo seu princípio de operação: Radiofrequência, Infravermelho e Ultrassom.

2.1.1 Operação por Radiofrequência

A grande vantagem das tecnologias que operam por radiofrequência é a tolerância a obstruções. Por operarem via sinal de rádio, não há a necessidade de contato visual entre transmissor e receptor e um único transmissor pode cuidar de mais de um ambiente.

A operação via sinal de rádio, entretanto, pode sofrer com a interferência do meio e ter seu desempenho prejudicado. Exemplos de problemas são os caminhos múltiplos que o sinal pode ter, a não propagação do sinal devido à presença, principalmente, de líquidos e estruturas metálicas e a interferência com outros equipamentos em operação.

Alguns exemplos de tecnologias que operam segundo esse princípio são: UWB, Wi-Fi, ZigBee e RFID. Maiores detalhes a respeito destas tecnologias, vide Anexo A.

2.1.2 Operação por Infravermelho

As tecnologias que operam por infravermelho apresentam algumas desvantagens em comum: intolerante a obstruções, curto alcance do sinal, alto custo de instalação e manutenção, queda de desempenho em ambientes que possuem incidência direta de luz solar. A intolerância a obstruções, decorrente da necessidade de transmissor e receptor serem visíveis um ao outro, faz-se necessário à instalação de sensores em todos os ambientes.

Alguns exemplos de tecnologias que operam segundo esse princípio são: *Active Badge* e *indoor* GPS. Maiores detalhes a respeito destas tecnologias, vide Anexo A.

2.1.3 Operação por Ultrassom

As tecnologias que operam por ultrassom possuem três grandes vantagens: grande precisão, da ordem de milímetros, baixo custo e fácil instalação. Por outro lado, a operação por ultrassom é suscetível a sons de alta frequência que podem existir no ambiente. Exemplos de fontes desse tipo de sons são: sistemas pneumáticos, chaves balançando e, até, papéis movidos pelo vento. Além disso, para um funcionamento eficiente, é necessário que transmissor e receptor sejam visíveis um ao outro e exista um tratamento adequado para sinais refletidos em ambientes internos.

2.2 Técnicas de Rastreamento

Para o rastreamento de usuários na automação predial, além da escolha de uma tecnologia, é necessário a escolha de uma técnica de rastreamento. Essa técnica determina como os dados são tratados para recuperar a posição de cada usuário.

Entre as técnicas de rastreamento mais usadas estão: Triangulação, Análise de Cenário e Proximidade.

2.2.1 Triangulação

A técnica de triangulação é aplicada segundo um dos dois métodos: a lateração e a angulação.

O método lateração recupera a posição de um usuário através do cálculo das distâncias estimadas entre ele e os transmissores ou receptores, pelo menos dois para um ambiente 2D, existentes em posições conhecidas no ambiente.

Para se estimar as distâncias até um usuário usa-se, normalmente, um dos métodos:

- Tempo, atraso, entre a transmissão e a recepção do sinal,
- Intensidade do sinal recebido (RSSI),
- Análise de fase do sinal.

O método angulação, por meio de dois ou mais transmissores ou receptores, recupera a posição de um usuário a partir do cruzamento das informações recebidas a respeito da direção do sinal emitido pelo dispositivo identificador do usuário.

2.2.2 Análise de Cenário

A técnica de análise de cenário consiste em duas etapas: treinamento e operação. O treinamento consiste na identificação, tratamento e armazenamento da intensidade dos sinais recebidos por cada um dos receptores, em posições conhecidas, em cada ponto do ambiente. Após o treinamento, a etapa operação consiste em comparar o sinal recebido da etiqueta do usuário, em cada receptor, e comparar com os dados obtidos anteriormente para, só então, recuperar a posição do usuário.

2.2.3 Proximidade

A técnica da proximidade, diferente da de Análise de Cenário, não existe etapa de treinamento. A posição do usuário é recuperada a partir das comparações entre o sinal emitido pela etiqueta do usuário e recebido pelos receptores, em posições conhecidas no ambiente. Essa técnica, por operar unicamente comparando os valores do sinal em cada receptor, tem sua precisão diretamente associada ao número de receptores.

3 Tecnologia de Identificação por Radiofrequência

Várias tecnologias, com a finalidade de identificação automática de pessoas e produtos, foram desenvolvidas nas últimas décadas, algumas vêm em decorrência de outras, em suas substituições ou como um complemento. Este poderia ser o caso do RFID em relação a tarja magnética ou ao código de barras, mas ao que tudo indica, o RFID parece ser muito mais que uma simples evolução destes já tão utilizados sistemas de identificação. Maiores detalhes a respeito do surgimento e evolução da tecnologia de RFID, vide Anexo B.

RFID é um termo genérico para tecnologias que usam ondas de rádio para identificar automaticamente pessoas, animais ou objetos. Existem vários métodos de identificação, o mais comum é, sem dúvida, armazenar um número serial que identifica o portador, e talvez outras informações, em um circuito integrado que está ligado a uma antena e encapsulados em um substrato para proteção. O circuito integrado, a antena e o substrato, juntos, compõe a etiqueta de RFID. A antena da etiqueta permite que o microchip transmita a informação de identificação a uma leitora. A leitora converte as ondas de rádio refletidas da etiqueta de RFID em informações digitais que depois podem ser repassadas a computadores que podem, então, fazer uso delas, [1].

3.1 Componentes de um Sistema Padrão

Um sistema de RFID mínimo é composto de uma leitora, etiquetas e antenas (Figura 3-1). A antena, ou antenas, da leitora pode ser integrada à leitora ou fisicamente separada e ligada por um cabo, já a antena da etiqueta geralmente é integrada fisicamente a esta. A maioria das etiquetas possui pelo menos um circuito integrado (CI), em geral um chip de silício, contendo a identificação e a lógica necessária para navegar pelo protocolo que orienta a comunicação entre a etiqueta e a leitora. A leitora pode incluir uma interface de utilizador ou, mais frequentemente, estar ligada a uma rede ou a um computador que irá interagir com o usuário para controlá-la, armazenar e exibir os dados resultantes, [1].

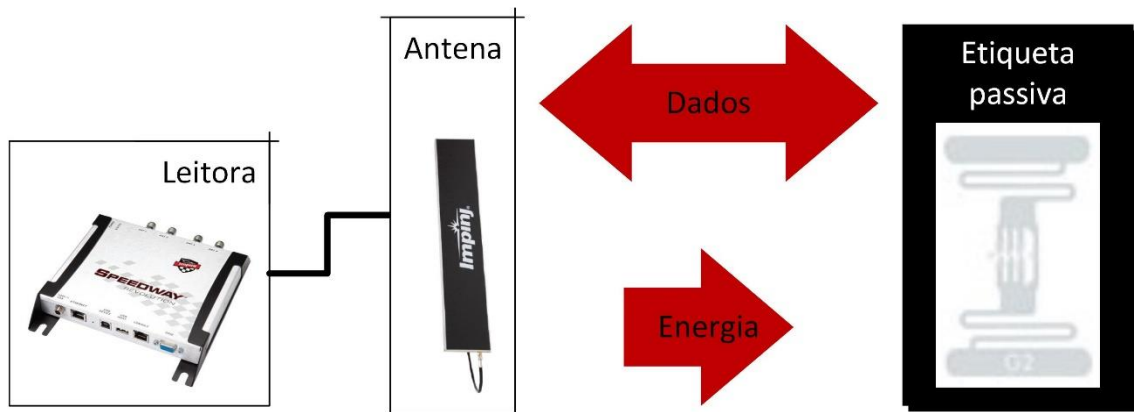


Figura 3-1 Componentes de um sistema mínimo de RFID, adaptada de [1].

3.1.1 Etiqueta

As etiquetas RFID são usadas basicamente para identificar pessoas, animais e objetos. Quando se trata de objetos e animais de grande valor agregado ou áreas de acesso restrito, o custo por etiqueta pode ser maior, porém, quando o valor agregado do bem é pequeno ou não há grande compromisso com a segurança o custo por etiqueta deve ser menor de forma a ser economicamente viável. A etiqueta a ser escolhida depende do bem a ser identificado (seu valor e tamanho) ou do compromisso com a segurança, do ambiente a ser monitorado e das distâncias entre as etiquetas e as antenas das leitoras, dentre outros. Ponderando esses fatores, podemos então escolher a etiqueta adequada à aplicação.

A etiqueta de RFID é composta, basicamente, por antena e chip encapsulados em um substrato para proteção e/ou fixação, como pode ser visto na Figura 3-2, mas, também, podem conter uma bateria e outros componentes como sensores. O chip possui memória com a identificação, que pode ser lida e algumas vezes também escrita, e a lógica necessária para navegar pelo protocolo de comunicação com a leitora. Além disso, a etiqueta pode possuir, mesmo que de forma eventual, algum processamento de dados, [2].

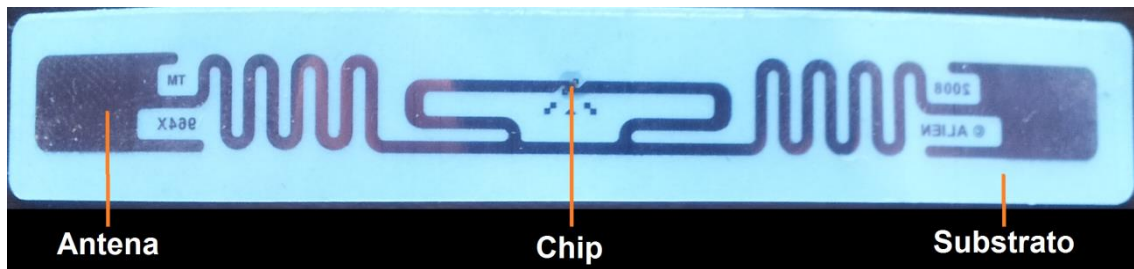


Figura 3-2 Etiqueta de RFID passiva, destacando antena, CI e substrato.

Existe uma grande variedade de etiquetas de RFID no mercado. Como cada aplicação demanda um tipo, é possível encontrar etiquetas com diferentes sensibilidades, tamanhos, encapsulamentos, alimentação e memória. E, não diferente, existem várias formas de classificá-las. Mais comumente, as etiquetas são classificadas segundo a alimentação. Além dessa forma, o EPCglobal, padrão que especifica todos os componentes de um sistema de RFID, também impõe uma classificação, menos didática e mais comercial.

3.1.1.1 Classificação Segundo a Alimentação

As etiquetas, segundo a Alimentação, podem ser divididas em dois grupos de etiquetas: ativas e passivas. Na literatura é possível encontrar ainda dois outros grupos de etiquetas: semi-ativas e semi-passivas. Esses agrupamentos não serão tratados no presente trabalho, tal como em boa parte da literatura pesquisada.

3.1.1.1.1 Etiquetas Ativas

As etiquetas ativas se diferenciam, essencialmente, por possuírem uma fonte interna de energia, como pode ser visto na Figura 3-3, e pela capacidade de poder embarcar sensores e microprocessadores, graças à alimentação extra. Componentes esses que permitem à etiqueta executar determinadas tarefas, tais como: medir a temperatura de um ambiente, calcular prazo de validade de um produto e, quando fixada dentro de um pneu, medir a pressão do mesmo.

A quantidade de circuitos extras, tal como a fonte de energia e possíveis componentes além dos básicos, faz com que esse tipo de etiqueta seja mais cara e possua um encapsulamento mínimo maior. Por não necessitar de sinal para excitar seus circuitos, a etiqueta ativa é capaz de iniciar comunicação com a leitora.

Outro diferencial da etiqueta ativa, decorrente da sua constituição, é a sua capacidade de ser lida a distâncias maiores, podendo chegar a centenas de metros. Por conta dessas características, elas acabam sendo mais indicadas para identificar bens (animais e objetos) com maior valor agregado, com dimensões maiores e distribuídos em áreas maiores. No caso da identificação de pessoas, esse tipo de etiqueta tira a necessidade do usuário ter que posicionar o seu identificador (um crachá, por exemplo) em um local específico para ser lido.

As etiquetas ativas podem operar, ainda, de duas formas distintas: *beacons* e *active transponders*.

Operando na forma *Beacons*, as etiquetas ativas enviam sinais periódicos à leitora. Este modo é muito utilizado em sistemas de localização em tempo real.

Operando na forma *Active Transponders*, as etiquetas ativas permanecem em um estado de dormência e são ativadas quando recebem algum sinal da leitora, economizando bateria, [2].

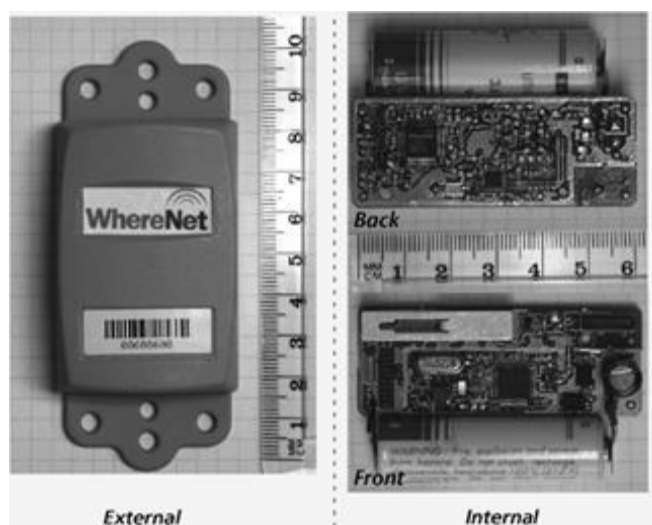


Figura 3-3 Etiqueta de RFID ativa, destacando bateria e circuitos extras, [2].

3.1.1.1.2 Etiquetas Passivas

As etiquetas passivas se diferenciam, essencialmente, por possuírem apenas os componentes básicos citados anteriormente, antena e chip encapsulados em um substrato para proteção e/ou fixação. A quantidade reduzida de circuitos faz com que esse tipo de etiqueta seja mais barata, ordem

de centavos a unidade, e possua um encapsulamento mínimo menor que a etiqueta ativa.

Por não possuírem alimentação extra, fonte interna, as etiquetas passivas nunca iniciam a comunicação com a leitora. Essas só transmitem quando excitadas pela leitora com quantidade suficiente de energia e só então é iniciada uma cascata de eventos, como pode ser observado na Figura 3-4, [2].

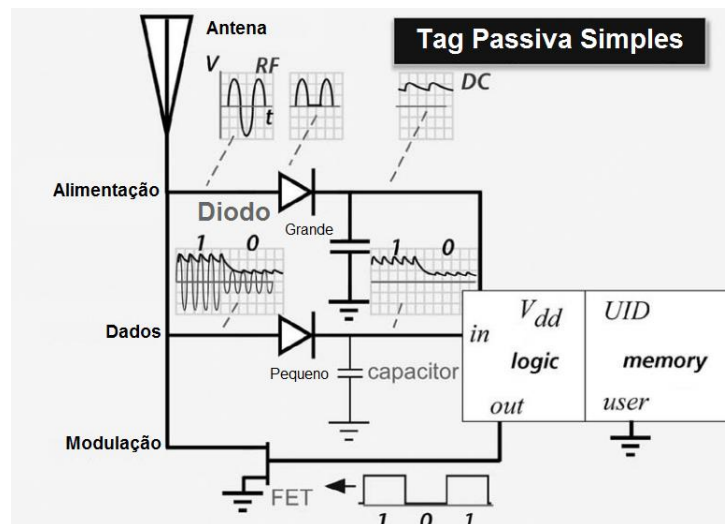


Figura 3-4 Sequência de eventos internos da etiqueta passiva após a energização, [2].

A figura acima apresenta, de forma simplificada, a sequência de eventos que ocorrem após uma etiqueta passiva ser energizada. A antena da etiqueta converte o campo eletromagnético, emitido pela leitora, em corrente através de suas espirais. A corrente é, então, retificada pelos conjuntos diodo-capacitor dos trechos Alimentação e Dados. Estes trechos diferem-se no tamanho da capacitância: maior no trecho Alimentação, para manter a tensão suficientemente alta para alimentar as circuitos de lógica e memória, e menor no trecho Dados, para manter a tensão alta apenas na ocorrência do bit 1 e baixa na ocorrência do bit 0. Após alimentação e recebimento dos dados enviados pela leitora, a etiqueta faz seu pequeno processamento, acessa a memória e transmite a saída através do FET. Este, quando acionado, aterriza a antena e permite que uma grande corrente a percorra. No caso do FET não ser acionado, a antena ficará flutuando e apenas uma pequena corrente irá fluir por ela. A alteração dessa característica elétrica da antena implica na modificação do sinal refletido por ela de volta para a leitora.

Como exemplo de uma etiqueta passiva tem-se a Figura 3-2, que abre este capítulo, contendo apenas antena e chip encapsulados em um substrato para proteção, [2].

3.1.2 Leitora

Uma leitora de RFID funciona como uma ponte entre a etiqueta de RFID e um computador ou estação de trabalho, ou até mesmo uma rede deles, executando um software de banco de dados ou outra aplicação. A leitora tem como funções básicas: ler e escrever dados em uma etiqueta, transmitir dados de e para o computador ou estação de trabalho e alimentar a etiqueta (no caso desta ser passiva). Maiores detalhes a respeito de outras funções implementadas e o tratamento do sinal feito pela leitora, vide Anexo C.

3.1.2.1 Componentes

Uma vez que a leitora se comunica com as etiquetas usando radiofrequência, qualquer leitora de RFID deve ter uma ou mais antenas. Uma vez que uma leitora deve comunicar com qualquer outro dispositivo ou computador, a leitora deve também ter uma interface de rede de algum tipo. Exemplos de interfaces de rede comuns são o Receptor/Transmissor assíncrono universal (UARTs - Universal Asynchronous Receiver/Transmitters) serial para comunicações RS-232 ou RS-485 e conector RJ45 para cabos Ethernet 10BaseT ou 100BaseT. Algumas leitoras ainda possuem interfaces Bluetooth ou comunicações Ethernet sem fio embarcada. Finalmente, para implementar os protocolos de comunicação e de controle do transmissor, cada leitora deve ter ainda um microcontrolador ou um microcomputador, como pode ser visto na Figura 3-5.

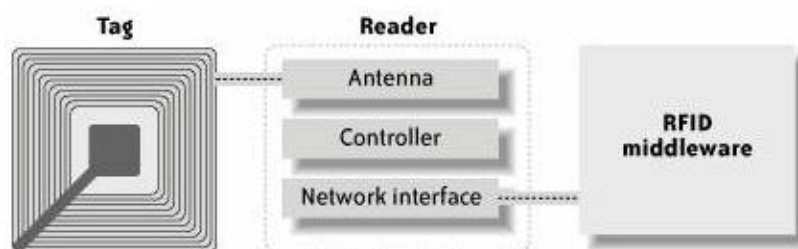


Figura 3-5 Leitora RFID: ponte entre a etiqueta e a aplicação, [3].

A topologia interna de uma leitora pode ser vista na Figura 3-6 abaixo:

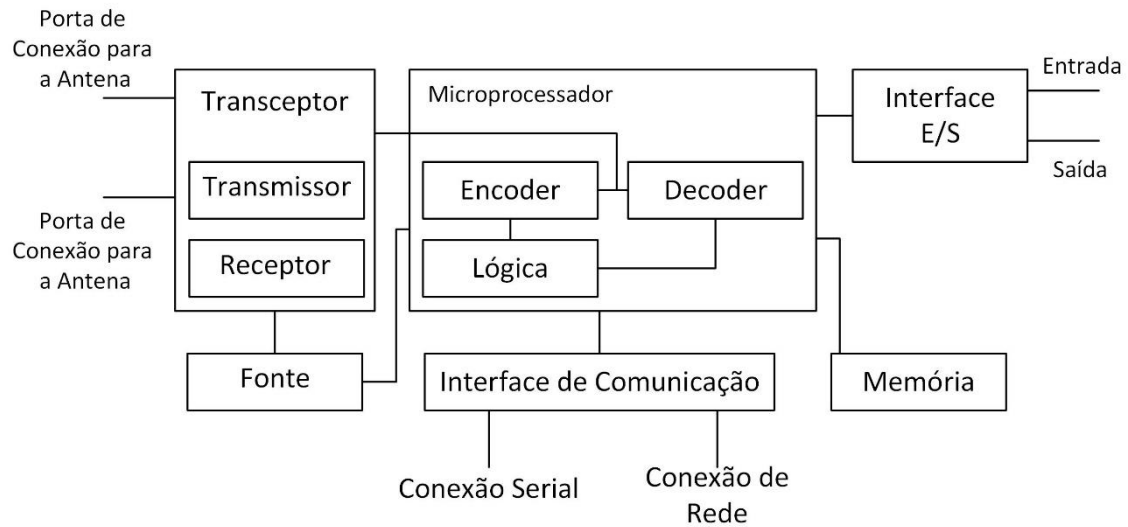


Figura 3-6 Topologia interna de uma leitora, segundo a construção física, adaptada de [3].

Transceptor: o transceptor é o módulo responsável pela comunicação da leitora com o mundo externo. Para o estabelecimento dessa comunicação faz-se necessário o uso de antenas, que são instaladas uma por porta do módulo. Atualmente, as leitoras suportam até quatro antenas, mas esse número pode ser aumentado com o uso de um *hub*. Um exemplo é o SPEEDWAY® READER ANTENNA HUB, da fabricante Impinj. O módulo transceptor pode ser subdividido em dois outros: transmissor e receptor. O primeiro transmite energia AC e requisições para as etiquetas na zona de leitura. O receptor recebe sinais analógicos das etiquetas, por meio da antena, e envia esses sinais ao microprocessador para serem digitalizados, [3].

Microprocessador: o microprocessador é o módulo responsável pela decodificação e análise de erros do sinal analógico recebido. É nesse componente que são implementados os protocolos de comunicação necessários.

Memória: a memória é o módulo responsável por manter as configurações e o *software* da leitora. Além disso, ela ainda mantém um *buffer* dos dados lidos das etiquetas. O espaço de armazenamento dessa informação é limitado pelo tamanho dessa memória, que passa a sobrescrever registros mais antigos assim que o limite é alcançado. Esse *buffer* é mantido como uma forma de *backup* no

caso da leitora perder comunicação com um banco de dados, por exemplo. Mas devido ao seu limite, se essa conexão não for restabelecida com rapidez os dados sobrescritos serão perdidos.

Interface de entrada e saída: a interface de entrada e saída é mais um canal de informação entre a leitora e o mundo externo. Por meio da interface de saída, por exemplo, o usuário pode ter acesso ao estado da leitora, se as etiquetas estão sendo lidas corretamente ou não. Já por meio da interface de entrada podem ser instalados sensores anunciadores de forma que a leitora só seja ligada quando a presença de um usuário for percebida por outro sensor.

Interface de comunicação: a interface de comunicação é o módulo responsável por estabelecer a comunicação da leitora com outro dispositivo ou computador, recebendo pedidos de leitura e enviando a informação lida. A comunicação é estabelecida por uma, ou mais, dessas interfaces de rede: serial RS-232, serial RS-422, serial RS-485, Ethernet via conector RJ45, Ethernet sem fio, Bluetooth e até ZigBee. Em leitoras de RFID mais completas, o equipamento pode se anunciar de forma automática na rede e até implementar um servidor Web, permitindo o usuário ter acesso a todas as configurações do equipamento por meio de um navegador em um computador na rede.

Fonte de Alimentação: a fonte de energia, como o próprio nome já diz, é o módulo responsável por fornecer energia para o funcionamento da leitora. Essa alimentação pode ser feita por meio de uma fonte retificadora ligada à rede de energia (110V ou 220V), ou ainda, em equipamentos mais completos, essa alimentação é feita via cabo Ethernet (PoE – *Power Over Ethernet*), juntamente com os dados, [3].

3.1.3 Antena

Uma antena, de forma geral, é qualquer estrutura ou dispositivo que serve para receber ou emitir ondas eletromagnéticas. As antenas das leitoras, bem como as antenas das etiquetas, também podem assumir diferentes formatos que variam com a aplicação como pode ser visto na Figura 3-7. Por exemplo, as antenas podem ser instaladas diretamente nas portas da leitora, embutidas em prateleiras ou estantes, montadas dentro de um terminal de ponto-de-venda, ou integradas às calhas que guiam o material a ser transportado, [4].



Figura 3-7 Antenas para sistemas de RFID, [5].

De forma simplificada, a antena é responsável por converter ondas eletromagnéticas em corrente na recepção de um sinal e por converter corrente elétrica em ondas eletromagnéticas na transmissão de um sinal. Os principais parâmetros da antena que afetam a etiqueta são a polarização (ou o vetor do campo elétrico das ondas da antena da leitora, orientação e direção), e o nível de potência da transmissão.

Uma antena de polarização linear (Figura 3-8) irradia integralmente no mesmo plano da direção de propagação do sinal, como pode ser visto na Figura 3-9 e na Figura 3-10, enquanto que com uma antena de polarização circular, o plano de polarização gira de forma circular no tempo, fazendo com que uma revolução completa seja efetuada durante um período da onda, [6].

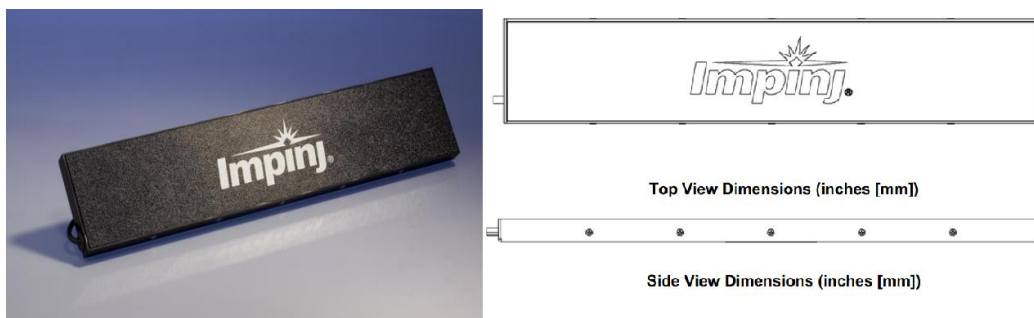


Figura 3-8 Antena de polarização linear modelo *Threshold*, da fabricante Impinj, [5].

O desempenho do sistema é, também, fortemente influenciado pela configuração das portas das antenas da leitora, escolha que é geralmente conduzida por um compromisso entre o custo e o desempenho. Os dois

esquemas de instalação são: monoestático e biestático. Um sistema monoestático usa a mesma antena para transmitir e receber, enquanto um sistema biestático utiliza antenas separadas, uma dedicada para a transmissão e outra para a recepção. Uma leitora de quatro portas monoestática requer quatro antenas, uma leitora de quatro portas biestática requer oito antenas, [5].

Como já se sabe, etiquetas e leitoras têm cada uma as suas próprias antenas. Devido aos vários tipos e configurações, as antenas precisam ser selecionadas para cada sistema de RFID. Para fazer a escolha das antenas das leitoras, visto que as antenas das etiquetas fazem parte do encapsulamento e não podem ser substituídas, é necessário ter em mente os seguintes fatores que podem influenciar o seu funcionamento:

- *Line loss*, ou perda na linha: quando uma leitora é ligada a uma antena de RFID por um cabo coaxial, dependendo da qualidade e do comprimento do mesmo, é perdida certa quantidade de energia entre a leitora e a antena. Esse fato é conhecido como perda na linha. Cabos de alta qualidade reduzem essa perda e garantem o seu funcionamento por mais tempo, já que fornecem a potência máxima da antena para a leitora.
- *Footprints*: é o volume no qual a antena fornece uma quantidade especificada de potência de sinal em condições definidas. Isso significa que uma etiqueta colocada no interior dessa cobertura será lida pela antena. Devido às antenas de RFID serem, principalmente, direcionais, os *footprints* de uma antena são raramente simétricas em torno dela. Pode-se usar um dispositivo, tal como um analisador de espectro, para mapear os *footprints* de uma antena.
- Polarização:
 - Se a orientação da etiqueta é arbitrária, desconhecida ou imprevisível, deve-se utilizar antenas polarizadas circularmente, devido estas possuírem componentes horizontais e verticais. Isso significa que, se as antenas são polarizadas circularmente, haverá sempre transferência de certa quantidade de energia entre as antenas da leitora e as antenas das etiquetas, independentemente da orientação das etiquetas.
 - Se a orientação das antenas das etiquetas é conhecida, devem-se usar antenas lineares na leitora para emitir a potência máxima em

uma única direção, e assim aumentar o alcance de leitura. Uma antena é dita polarizada linear horizontal quando as ondas emitidas são paralelas à superfície da Terra, e é dita polarizada linear vertical quando as ondas emitidas são perpendiculares à superfície da Terra.

- Padrões e regulamentações: deve-se estar ciente de que os padrões e a regulamentação para os sistemas de RFID, frequência de operação e a potência máxima de transmissão da antena são características que variam entre as regiões do mundo. Isso é importante por duas razões: obedecer à lei local e para ser compatível com o ambiente, [6].

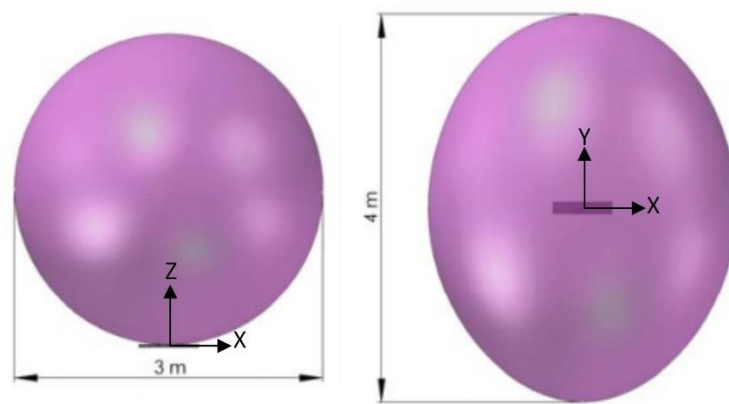


Figura 3-9 Mapeamento da pegada da antena *Threshold*, da fabricante Impinj, [5].

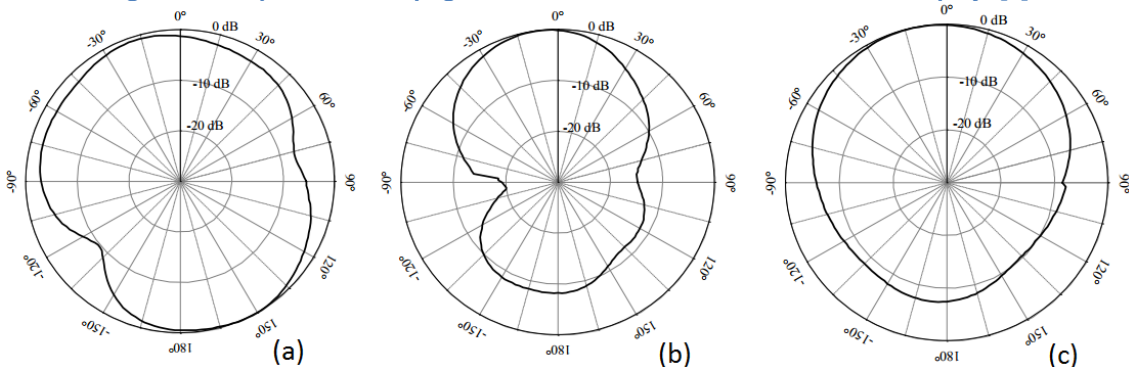


Figura 3-10 Padrão de radiação da antena *Threshold*, da fabricante Impinj. Padrões de radiação para os planos: a) X-Y, b) X-Z e c) Y-Z, [5].

3.1.4 Middleware

O *Middleware* de um sistema de RFID fica entre as leitoras de etiquetas e os softwares corporativos, que se destinam a atender às necessidades específicas de uma aplicação. Muitos dos desafios vêm da grande quantidade de pequenos dados que são oriundos das ondas de radiofrequência das leitoras de etiquetas, em comparação com o maior tamanho dos dados que os softwares

corporativos tradicionais estão acostumados. Assim, boa parte do processamento realizado pelo middleware de um sistema de RFID consiste na redução da quantidade desses pequenos dados a partir de operações como filtragem, agregação e contagem. Outros desafios surgem de características específicas da arquitetura EPC, incluindo o ONS e os componentes de serviço PML.

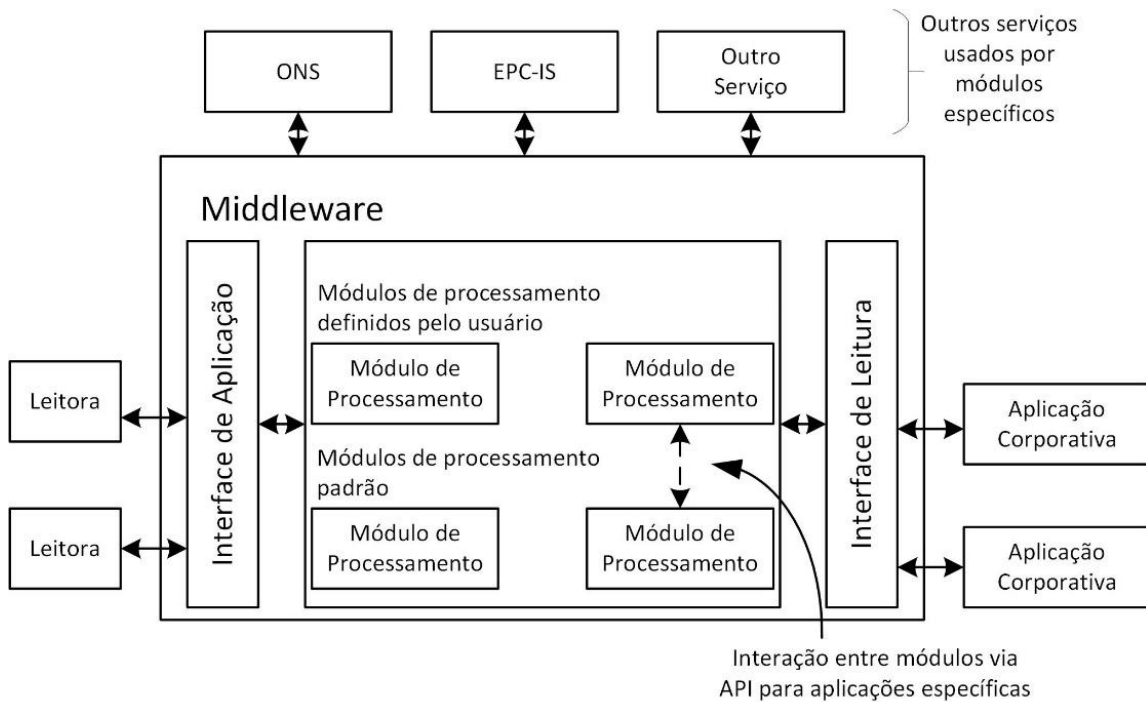


Figura 3-11 Estrutura modular de um Middleware, adaptada de [4].

O *Middleware*, Figura 3-11, é um agregador de módulos de processamento que interage através de duas interfaces definidas na especificação. A interface de leitura estabelece a conexão com as leitoras de etiquetas RFID e a interface de aplicação fornece uma conexão com aplicações externas (por exemplo, *softwares* corporativos), permite fazer interface com novos padrões e, ainda, permite a comunicação com outro agregador de módulos de processamento de um outro *middleware*. A interface de aplicação é definida por um protocolo que é totalmente especificado, em termos de conjuntos de comandos, em que cada conjunto de comandos é definido para cada módulo de processamento. Assim, a interface de aplicação serve como um canal comum entre os módulos de processamento e as aplicações externas. Se necessário, os módulos de processamento podem se comunicar com serviços externos pré-existentes usando os protocolos nativos desses serviços. A interface de

aplicação é especificada utilizando uma abordagem em camadas, em que uma camada define os comandos e a sua sintaxe abstrata, e uma camada inferior especifica uma vinculação a uma sintaxe particular e protocolo da camada logo acima (ou seja, vários vínculos podem ser definidos), [4].

3.2 Frequências de Operação

Uma etiqueta e uma leitora usam ondas de rádio a certa frequência, para comunicarem entre si. As ondas de rádio são ondas eletromagnéticas que cobrem parte do espectro eletromagnético de frequências. Devido aos sistemas de RFID gerarem e irradiarem ondas eletromagnéticas ao longo do espectro de frequência de rádio, eles são classificados como sistemas de rádio e, portanto, são regulados como tal. Rádio, televisão, serviços móveis de rádio (polícia, forças militares) e telefones celulares são apenas alguns exemplos de serviços de rádio que não devem ser interrompidos ou prejudicados pela existência de sistemas de RFID. Tais cuidados restringem o espectro de frequências passível de uso pelo RFID, que passaram a usar as frequências ISM (*industrial, scientific, medical*). Maiores detalhes a respeito das frequências de operação de sistemas de RFID, vide Anexo D, [2], [6].

Tabela 3-1 Faixas de frequência mais comumente usadas em sistemas de RFID, [2].

Nome	Faixa de Frequência de Operação	Comprimento de Onda	Faixa de Frequência ISM de Operação	Alcance de Leitura de Etiquetas Passivas
Baixa frequência (LF)	30 - 300 KHz	10 Km – 1 Km	125 – 135 KHz	< 50 cm
Alta frequência (HF)	3 - 30 MHz	100 m – 10 m	6,78 MHz, 8,11 MHz, 13,56 MHz, 27,12 MHz	< 3 m
Ultra-Alta frequência (UHF)	300 MHz – 3 GHz	1 m – 10 cm	433 MHz, 869 MHz, 915 MHz	< 9 m
Microondas	1 – 300 GHz	30 cm – 1 mm	2.44 GHz, 5.80 GHz	> 10 m

Tabela 3-1 mostra as quatro faixas de frequência de operação mais comumente usadas em sistemas de RFID. Associado a cada uma dessas quatro faixas, ainda é apresentada a respectiva faixa ISM e o alcance de leitura das etiquetas passivas. Etiquetas ativas, de modo geral, podem ter um alcance de leitura de até 100 metros, [2].

A escolha da frequência de operação do sistema em questão não afeta o princípio do funcionamento dos componentes, mas é decisiva para o desempenho do sistema no que se refere à velocidade e alcance (Tabela 3-2 e Figura 3-12), [4].

Tabela 3-2 Características das faixas de frequência de operação, [4].

Faixa de Operação	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Baixa frequência (LF)	Bom desempenho próximo de água ou de metais; Regulamentada no mundo todo;	Curto alcance de leitura; Baixa velocidade de leitura;	Identificação e rastreamento de pessoas e animais; Leitura a curta distância de itens com alta composição de água;
Alta frequência (HF)	Melhor acurácia e boa velocidade de leitura, Fácil leitura a uma determinada distância; Pode transferir maior quantidade de informação;	Requer maior potência;	Controle de acesso predial; Controle de acervo de livros; Rastreamento de bagagem;
Ultra-Alta frequência (UHF)	Melhor velocidade de leitura; Fácil leitura a uma determinada distância; Pode transferir maior quantidade de informação;	Não possui bom desempenho próximo de água ou de metais;	Controle de estacionamento; Pagamento automático de pedágio; Rastreamento de produtos na linha de produção;
Microondas	Maior velocidade de leitura;	Não possui bom desempenho próximo de água ou de metais;	Identificação de veículos; Pagamento automático de pedágio; Rastreamento de produtos na linha de produção;

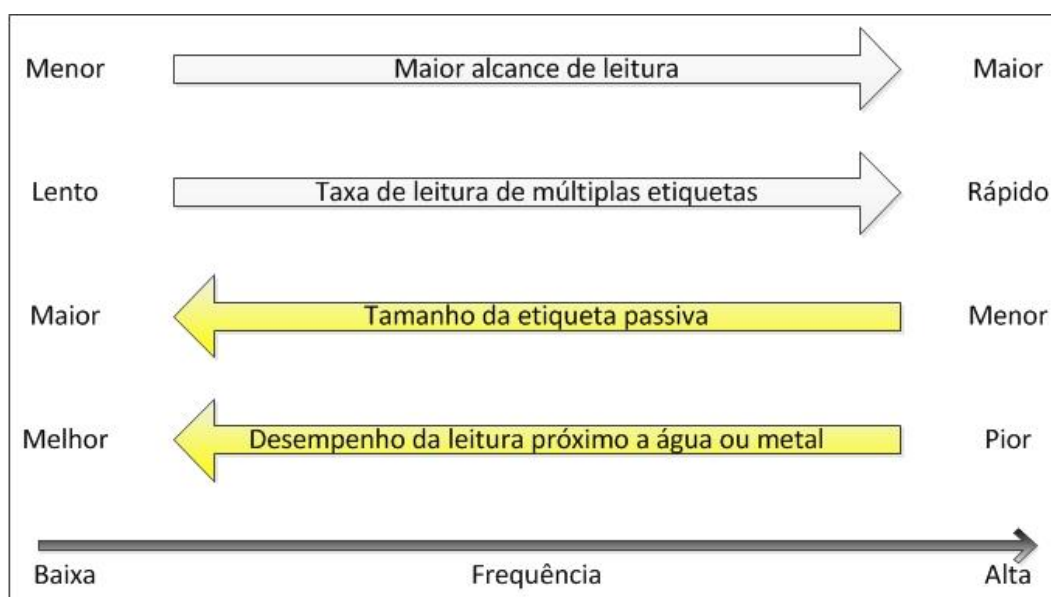


Figura 3-12 Características de um sistema de RFID relativas à frequência de operação.

A Tabela 3-3 mostra exemplos de comportamentos de alguns materiais diante das ondas de rádio. Materiais tidos como translúcidos permitem que as ondas de radiofrequência de sistemas de RFID passem por eles. Já os materiais absorventes e opacos apresentam resistência à passagem dessas ondas de rádio. Essa resistência implica na redução do desempenho dos sistemas de RFID, não impedindo a aplicação destes em ambientes que possuam tais materiais, [6].

Tabela 3-3 Comportamento dos materiais diante das ondas de radiofrequência, [6].

Material	Baixa frequência (LF)	Alta frequência (HF)	Ultra-Alta frequência (UHF)	Microondas
Produtos de papel	Translúcido	Translúcido	Translúcido	Translúcido
Plásticos (alguns)	Translúcido	Translúcido	Translúcido	Translúcido
Tecido	Translúcido	Translúcido	Translúcido	Translúcido
Óleo de motor	Translúcido	Translúcido	Translúcido	Translúcido
Madeira seca	Translúcido	Translúcido	Translúcido	Absorvente
Líquidos (alguns)	Translúcido	Translúcido	Absorvente	Absorvente
Madeira úmida	Translúcido	Translúcido	Absorvente	Absorvente
Água	Translúcido	Translúcido	Absorvente	Absorvente
Grafite	Translúcido	Translúcido	Opaco	Opaco
Metais	Translúcido	Translúcido	Opaco	Opaco

3.3 Padronização

A finalidade da padronização é definir as características de operação e funcionamento de equipamentos para que fabricantes distintos possam produzir dispositivos com características comuns. Ou seja, é por meio da padronização que várias tecnologias podem sobreviver em um mesmo universo e garantir a compatibilidade e concorrência de preço entre dispositivos da mesma tecnologia e fabricantes diferentes, [7].

3.3.1 EPCglobal

O padrão EPC (Código Eletrônico de Produto) não define somente a interface entre etiquetas e leitoras, mas também uma nova estrutura de comunicação entre a cadeia logística mundial e a tecnologia de RFID. Maiores detalhes a respeito da padronização e do padrão EPCglobal, vide Anexo E, [8].

3.3.1.1 Número EPC

O padrão EPC define um esquema de numeração para as etiquetas. Para se adequar às necessidades das indústrias e da rede varejista, a numeração é feita de tal forma que os números seriais gerados são únicos para cada etiqueta EPC.

As etiquetas EPC estão disponíveis, por padrão, em duas opções de capacidade de memória para o armazenamento do número EPC: uma com 64 bits, etiquetas do padrão EPC Classe 0, e a outra com 96 bits, das demais classes. Etiquetas com maior capacidade podem ser usadas, mas 96 bits de memória tem sido uma quantidade satisfatória. A Figura 3-13, abaixo, apresenta a estrutura do número EPC para uma etiqueta de 96 bits de memória, [6].

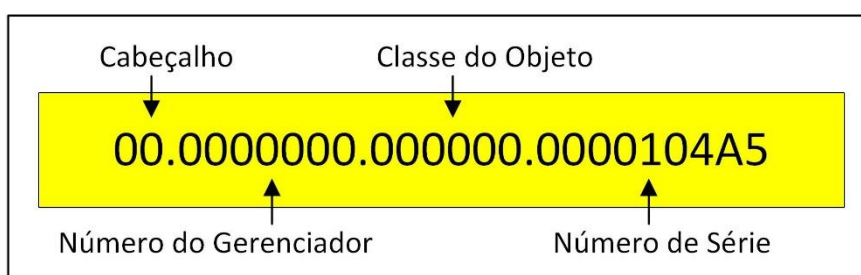


Figura 3-13 Estrutura do Número EPC, [6].

O Cabeçalho, formado por 8 bits, identifica o comprimento, tipo, estrutura, versão e geração do padrão EPC da etiqueta.

O Número do Gerenciador EPC, formado por 28 bits, identifica a empresa responsável pelo produto a ser rastreado. Essa empresa será, ainda, responsável por manter as partições subsequentes do número EPC.

A Classe do Objeto, formada por 24 bits, identifica o tipo do produto a ser rastreado, dentro do leque de produtos da empresa identificada segundo o Número do Gerenciador EPC.

O Número de Série identifica uma unidade específica de um determinado produto, de uma determinada empresa.

Os 96 bits da etiqueta em questão permitem identificar 268.435.456 empresas diferentes, tendo cada uma delas 16.777.216 produtos diversos e 68.719.476.736 números de série para cada tipo de produto. As etiquetas de 64 bits, por serem mais baratas e guardarem menos detalhes, são usadas para rastrear produtos de menor valor agregado, [6].

3.3.1.2 O Padrão EPCglobal UHF Classe 1 Geração 2

O padrão EPC UHF Classe 1 Geração 2 descreve, detalhadamente, como deve ser a comunicação entre a leitora de RFID e a etiqueta e como deve ser feita a interface aérea. Estas especificações foram publicadas pela EPCglobal em 2004, e padronizadas na ISO 18000-6C em 2006.

Segundo o padrão estabelecido, a comunicação entre a leitora e a etiqueta é iniciada pela leitora (ITF – *Interrogator Talks First*) enviando comandos, juntamente com alguns parâmetros, a um grupo de etiquetas, que estão dentro do raio de alcance de leitura, para identificar cada uma delas: obter o número EPC (identificação) e/ou outros dados gravados em sua memória. O padrão EPC Classe 1 Geração 2 define os requisitos físicos e lógicos para leitoras e etiquetas para estabelecer a comunicação por *backscatter* passiva, na faixa de operação variando de 860 MHz – 960 MHz. O padrão em questão representa um passo importante no desempenho, qualidade e padronização, [9].

O padrão Geração 2 também utiliza o espectro alargado por salto de frequência (FHSS - *Frequency Hopping Spread Spectrum*). Essa tecnologia consiste em transmitir uma parte da informação em uma determinada frequência durante um intervalo de tempo, chamado *dwell time*, inferior a 400 ms. Passado

este tempo, muda-se a frequência de emissão e segue-se transmitindo em outra frequência. Desta maneira, cada trecho de informação é transmitida em uma frequência diferente durante um intervalo muito curto de tempo. Depois, comparam-se as leituras, selecionando a melhor delas. Dessa forma, consegue-se obter uma melhor leitura da etiqueta.

Leitoras certificadas EPC Classe 1 Geração 2 operam na faixa de operação de 860 MHz – 960 MHz, trabalham com o mesmo conjunto de comandos de baixo nível (LLRP - *Low Level Reader Command Set*) e são capazes de se comunicar com equipamentos certificados de outros fabricantes. As diferenças entre fabricantes estão relacionadas com melhorias adicionadas à Geração 2 relacionadas ao aumento da sensibilidade para leitura e escrita, direção da sensibilidade da etiqueta e outras mais. As leitoras, por padrão, para ajustes internos possuem três modos de leitura (único, múltiplo e denso) que as ajustam para diferentes ambientes e quantidade de etiquetas dentro do raio de alcance de leitura. Além dos três modos de leitura, leitoras certificadas também tem duas velocidades de leitura: rápida, mais de 1000 etiquetas por segundo, e lenta, menos de 500 etiquetas por segundo. A seleção da velocidade de leitura é automática e dependem inteiramente das condições de leitura para cada etiqueta. A leitura em alta velocidade é chamada de FM0 *Baseband* e lê etiquetas a uma velocidade de 40 Kbits/s - 640 Kbits/s de leitura e a leitura de baixa velocidade é chamada de Miller opera de 5 Kbtis/s – 320 Kbits/s. A leitura de baixa velocidade é selecionada quando o leitor detecta uma etiqueta, mas não pode lê-lo usando FM0 *Baseband*, [9].

4 Rastreamento de Usuários para a Automação Predial

4.1 O Sistema Proposto

Conforme apresentado no subitem 1.2, o presente trabalho tem por objetivo implementar um sistema de rastreamento de usuários a ser usado pela automação predial, também desenvolvida por este trabalho, no LARA.

Como forma de superar as dificuldades encontradas nos trabalhos anteriores tais como interferência eletromagnética do ambiente e etiquetas não omnidirecionais, o sistema de rastreamento de usuários proposto é implementado por meio da tecnologia de RFID passiva. As características desta tecnologia, tal como o menor alcance de leitura, implicaram ainda na mudança da estratégia de rastreamento que, diferente dos trabalhos anteriores, passa a ser feito segundo a técnica de proximidade.

O sistema de rastreamento proposto opera monitorando a ocorrência de eventos de mudança de ambiente de cada usuário. Para ser visível para o sistema, cada usuário deve possuir, entre a palmilha e o solado do calçado, uma etiqueta de RFID passiva. Componente este que é simples, menor, fino e barato o suficiente graças à tecnologia de RFID usada. Para identificar os eventos de mudança de ambiente, uma antena de RFID é instalada, no chão, no caminho de passagem dos usuários a cada fronteira de dois ambientes monitorados. Para evitar perdas na linha, as leitoras de RFID foram distribuídas de forma às antenas se conectaram por meio do menor comprimento de cabo coaxial possível. A cada ciclo de requisição das leituras feitas, as leitoras retornam os números EPC das etiquetas lidas pelas antenas. Como cada etiqueta identifica um único usuário e a aplicação “sabe” o ambiente anterior do usuário, o sistema é capaz de identificar qual o ambiente de destino do usuário.

O uso da tecnologia de RFID passiva implicou na escolha do rastreamento por meio da técnica de proximidade, visto o menor alcance de leitura da tecnologia. Por ser uma técnica relativamente mais simples, lidar apenas com a existência de um evento de leitura, e por lidar com distâncias menores, visto que o pé do usuário passa próximo à antena de RFID posicionada no chão, o sistema de rastreamento proposto é pouco afetado pela interferência eletromagnética do ambiente. Além disto, o fato da etiqueta de RFID neste sistema ter sempre uma

mesma orientação e ela ser conhecida, paralela ao chão, o sistema proposto não depende da etiqueta ser omnidirecional para garantir a correta operação.

Como tentativa de garantir a robustez à automação predial proposta, é usado um aplicativo SCADA independente, no caso o ScadaBR, para centralizar as informações dos ambientes (usuários em cada ambiente, temperatura e luminosidade) e atuar sobre eles. Toda a comunicação com o supervisor é feita via protocolo Modbus. Além de esperar maior robustez, o uso do ScadaBR, que já implementa diversos protocolos de comunicação, possibilita que o sistema de automação instalado possa ser facilmente expandido.

O *hardware* usado por este trabalho foi instalado nos três ambientes monitorados do LARA, como pode ser observado na Figura 4-1. Para o sistema de rastreamento de usuários foram usadas três leitoras de RFID modelo R420 da marca Impinj e cinco antenas de RFID modelo Threshold, também da marca Impinj. As antenas foram instaladas, no chão, no caminho de passagem dos usuários a cada fronteira de dois ambientes monitorados. As leitoras foram distribuídas de forma a conectar as antenas com o menor comprimento de cabo possível. Para automação predial proposta atuar nos ambientes foram construídos três módulos baseados em Arduino e comunicando via rede sem fio ZigBee.

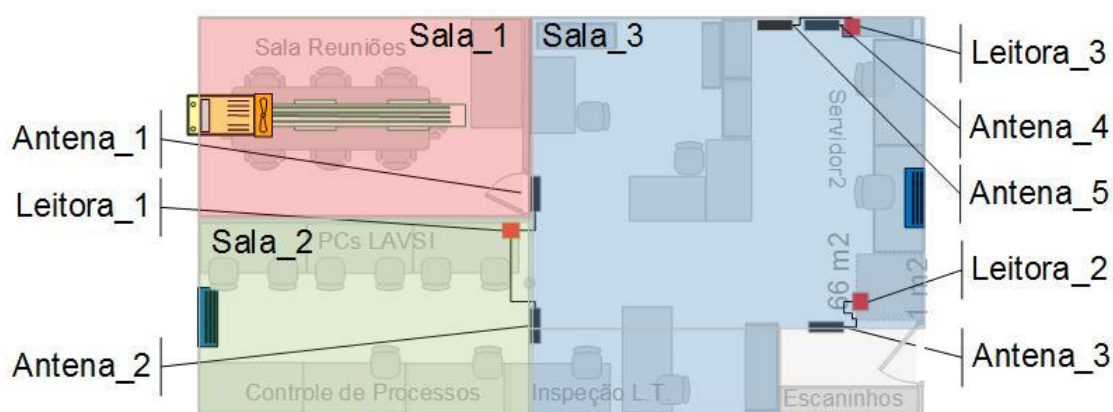


Figura 4-1 Distribuição dos equipamentos usados por este trabalho no ambiente de teste.

Os *softwares* usados por este trabalhado operam de forma modular. Foram desenvolvidos dois programas em C#, uma aplicação middleware e outra corporativa, respeitando a hierarquia existente apresentada no subitem 3.1.4, que operam sobre um banco de dados SQL para manterem o sistema de

rastreamento de usuários e, em mais alto nível, foi usado o ScadaBR para operar o sistema de automação predial. Esta modularidade, graças às funções e interfaces bem definidas de cada uma das aplicações, permite que operações de atualização e substituição das aplicações sejam feitas sem grande dificuldade ou comprometimento do restante do sistema.

Um esquema do sistema de rastreamento de usuários e automação predial propostos e instalados durante este trabalho pode ser observado na Figura 4-2:

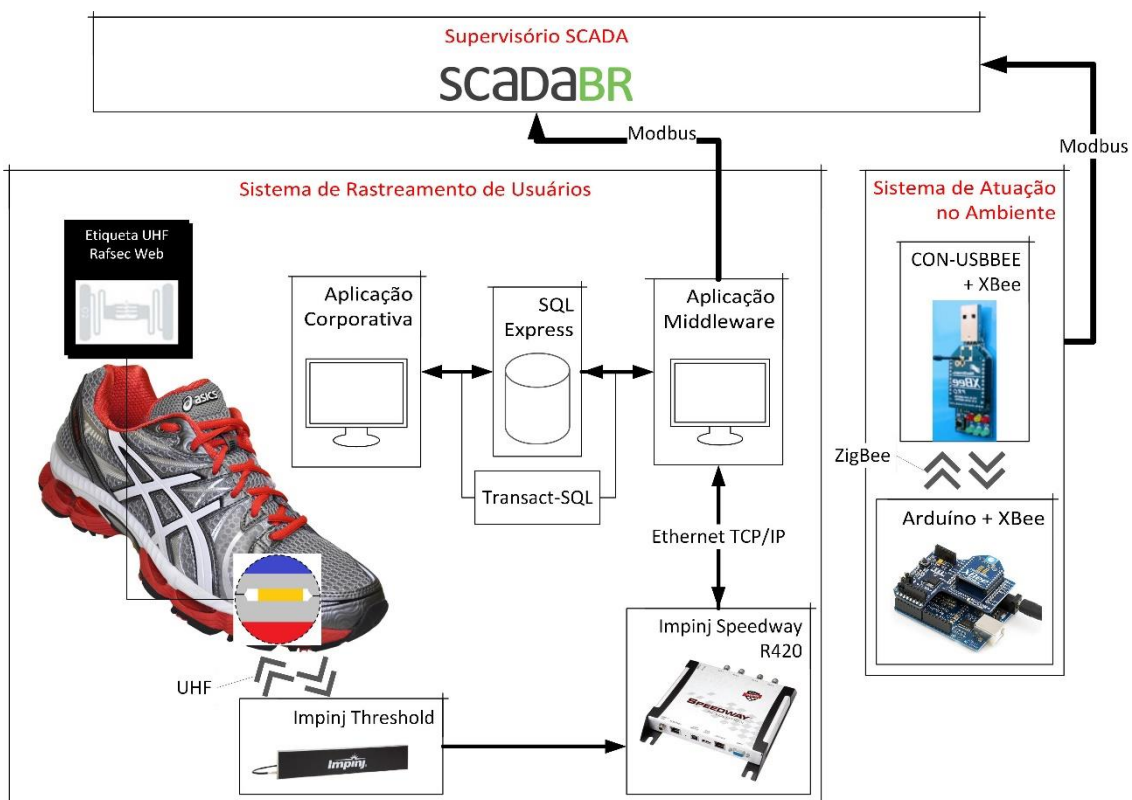


Figura 4-2 Sistema de rastreamento de usuários a ser utilizado na automação predial.

O sistema proposto é mais simples no tocante a processamento e análise de dados, visto que o rastreamento é feito pela leitura do número da etiqueta, identificação do usuário e comparação com o ambiente anterior do mesmo. Por outro lado, a escolha do modelo da etiqueta, ajustes das leitoras e antenas e tratamento dos dados nos diferentes níveis das aplicações são características que podem determinar o sucesso ou fracasso desta aplicação.

4.2 Material Usado

4.2.1 Hardware

4.2.1.1 Leitora RFID: Impinj Speedway R420

A Leitora Speedway R420 possui formato compacto (19 x 17.5 x 3 cm e 680 g), Figura 4-3, e suporte para novos recursos como Alimentação via cabo Ethernet (PoE), dispensando a necessidade de rede elétrica para alimentação do equipamento e compatibilidade com o padrão EPCglobal UHF Classe 1 Geração 2. O baixo consumo de energia da leitora reduz os custos operacionais e, ainda, entrega na totalidade os 32,25 dBm de transmissão de potência e o mais alto desempenho de leitura disponível, quando alimentada via fonte externa de energia.



Figura 4-3 Leitora RFID Impinj Speedway R420, [9].

A comunicação com a rede é feita por meio do padrão *Ethernet 10/100BASE-T* via protocolo TCP/IP por meio de uma porta RJ-45. Ela pode, também, ser acessada via serial RS-232 com o auxílio, incomum, de um cabo conversor DB-9 para RJ-45. A leitora possui, ainda, quatro entradas e quatro saídas digitais, isoladas opticamente, disponibilizadas por meio de uma porta DB-15. Existem duas portas USB, uma tipo A e outro tipo B, que podem atuar como interface de entrada e saída de aplicações e para a atualização do *firmware* do equipamento. A Leitora Speedway R420 tem, como característica, quatro portas para antenas no padrão *monoestático* e, ainda, esse modelo

permite expandir o número de portas para antenas com o uso de hubs, tal como o modelo SPEEDWAY® READER ANTENNA HUB.

A leitora, estando na rede via porta RJ-45, pode ser acessada via navegador pelo endereço IP ou pelo *hostname* do equipamento. Por meio desta conexão, é possível ter acesso a algumas informações e configurações. Para testar o equipamento, a fabricante Impinj disponibiliza o software MultiReader que implementa as funções básica de informação, configuração e leitura de etiquetas.

O equipamento usado ainda conta com a tecnologia Piloto Automático, detecção automática aprimorada das características do ambiente (tal como quantidade de etiquetas, ruído e interferência no local) e definição das configurações para melhor desempenho. Por ser compatível com o padrão EPCglobal UHF Classe 1 Geração 2, apresentado no subitem 3.3.1.2, o equipamento garante as características apresentadas anteriormente. Entre as características apresentadas, destacam-se: opera na faixa de 860-960 MHz (902,5-907 MHz, no Brasil), trabalha com o LLRP, são capazes de se comunicar com equipamentos certificados de outros fabricantes, possuem três modos de leitura e duas velocidades que são selecionadas de acordo com as características do ambiente.

4.2.1.2 Antena RFID: Impinj Threshold

As antenas usadas no projeto são do modelo Threshold, Figura 4-4, da fabricante Impinj. A fabricante é a mesma das leitoras usadas, garantindo total compatibilidade durante a operação. Este modelo específico foi escolhido por ter sido desenvolvido para aplicações de monitoração de fronteiras. A aplicação que melhor ilustra o uso desta antena é a medição dos tempos de atletas em corridas de rua: as etiquetas presas aos tênis dos corredores são lidas quando esses passam sobre tablados recheados destas antenas.

Características da antena usada:

- Bom desempenho para leituras a longa distância,
- Feixe de leitura largo para maximizar a zona de cobertura,
- Perfil de fabricação baixo, 457 x 89 x 19 mm,
- Desempenho otimizado para operação na faixa de 902-928 MHz.

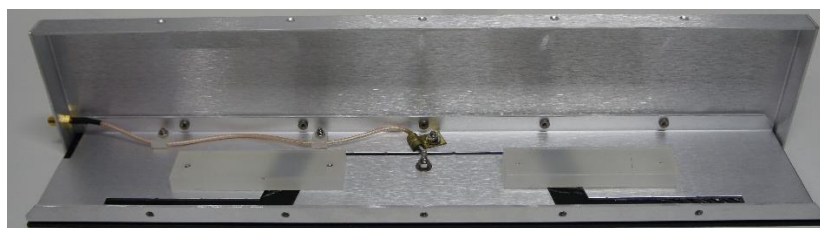


Figura 4-4 Antena de RFID Impinj Threshold aberta.

O modelo Threshold possui polarização linear, característica que garante maior alcance de leitura em detrimento da flexibilidade de orientação das etiquetas a serem lidas. Como o sistema prevê a etiqueta entre a palmilha e o solado do calçado do usuário, o fato da polarização ser linear favorece o sistema devido às etiquetas terem orientação fixa, paralela ao chão e a antena, e garante um maior alcance de leitura. As antenas foram instaladas no esquema monoestático, a mesma antena para transmitir e receber. Para evitar *line loss*, perdas no cabo coaxial que liga a antena à leitora, foram usados cabos curtos, 3m, que foram fornecidos juntamente com as antenas. Além disso, a faixa de operação a qual a antena foi projetada para operar contém a faixa de operação regulamentada no Brasil, 902.5 - 907 MHz, [10].

As características da Zona de Leitura e Padrão de Radiação da Antena Threshold foram apresentadas, respectivamente, na Figura 3-9 e Figura 3-10.

4.2.1.3 Etiqueta de RFID: Rafsec Web

As etiquetas usadas no projeto são do modelo Web, da fabricante Rafsec, Figura 4-5, com as dimensões 30x50mm. O modelo usado é compatível com o padrão EPCglobal Classe 1 Geração 2, possuindo um número EPC de 96 bits e operando na faixa de frequência de 860-960 MHz.

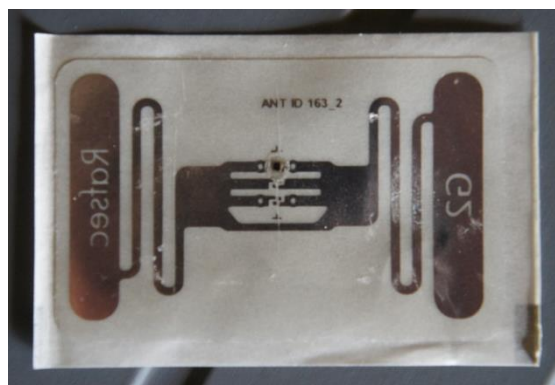


Figura 4-5 Etiqueta de RFID Rafsec Web.

Sendo uma etiqueta passiva, como apresentada anteriormente, a mesma possui antena e chip (CI) encapsulados em um substrato para proteção. A construção exata da etiqueta é observada abaixo, Figura 4-6, tendo como material da face o PET 12 e a antena em alumínio:

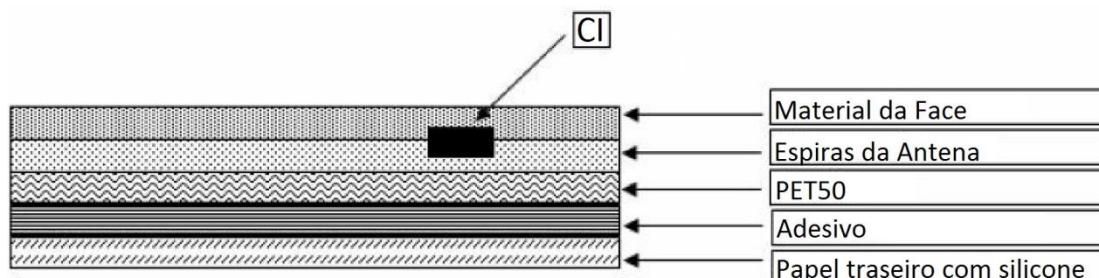


Figura 4-6 Materiais usados na construção da Etiqueta de RFID Rafsec Web, [11].

O modelo em questão foi escolhido devido às suas dimensões, materiais de sua construção e compatibilidade com o protocolo EPCglobal Classe 1 Geração 2. Como será posicionada entre o solado e a palmilha do calçado neste projeto, a etiqueta escolhida é suficientemente pequena e delgada de modo a ser facilmente posicionada na parte da frente do calçado, sem causar qualquer tipo de incômodo para o usuário. Além do fator conforto, a etiqueta escolhida é de tamanho reduzido por possuir uma sensibilidade menor e assim garantir que o pé do usuário sirva de barreira para a onda eletromagnética, impedindo leituras falsas. Ou seja, o pé do usuário serve de barreira para o sinal por somente permitir a leitura da etiqueta no momento em que o usuário estiver mudando de ambiente, passando sobre a antena. O material de composição da etiqueta é basicamente plástico, escolhido como forma de evitar a degradação precoce do identificador por conta do suor presente no pé.

4.2.1.4 Arduino

Arduino é uma plataforma, de código aberto, para prototipagem eletrônica criada para ser uma ferramenta barata, flexível e de fácil operação. O hardware, a placa Arduino Uno, é construído entorno de um microcontrolador Atmel AVR e conta com entradas e saídas digitais e analógicas e é programado em linguagem padrão, derivada do Wiring que é bem próxima das linguagens C/C++.

O Arduino Uno, modelo usado neste projeto, é baseado no ATmega328. Ele tem 14 pinos de entrada/saída digital (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal de 16MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP e um botão de reset.

O dispositivo, Arduino Uno, Figura 4-7, pode operar conectado a um computador estabelecendo conexão de dados e alimentação. Ou ainda, por possuir entrada para alimentação externa, o Arduino pode operar de forma isolada do computador. Neste caso, a comunicação com computadores e outros dispositivos pode ser feita por meio de dispositivos de expansão, *shields*, que são acoplados ao Arduino. Por meio dessas expansões, o dispositivo ainda é capaz de operar motores, acessar a internet via ethernet e Wi-Fi e, como usado neste projeto, comunicar sem fio via ZigBee.

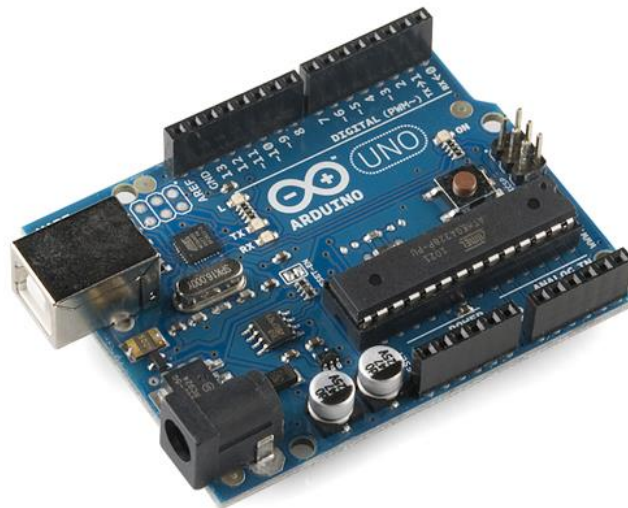


Figura 4-7 Arduino Uno, [12].

4.2.1.5 Expansão XBee

O XBee, Figura 4-8, pertencente a empresa Digi International, é uma família de módulos de rádio dividida em dois grupos: XBee, de baixo custo e potência (1mW), e XBee-PRO, mais cara e com maior potência (100mW). As principais características dessa tecnologia de comunicação, independente do grupo a ser usado, são: a comunicação pode ser estabelecida à longa distância, baixo consumo de energia e custo relativamente baixo.

Para este projeto, por não lidar com grandes distância ou grande tráfego de dados, foi escolhido o modelo XBee 802.15.4 Série 1 que opera na frequência ISM de 2,4 GHz.



Figura 4-8 XBee com antena, [13].

O uso do XBee em conjunto com o Arduino é feito por meio de um terceiro componente responsável por fazer a interface: *shield XBee*, visto na Figura 4-9. A interface é estabelecida de tal forma que a comunicação sem fio, via pinos RX e TX, é transparente para o Arduino. Na prática, a programação do Arduino é feita como se ele estivesse falando e escutando via USB. No entanto, toda uma configuração prévia deve ser feita módulo a módulo XBee da rede.

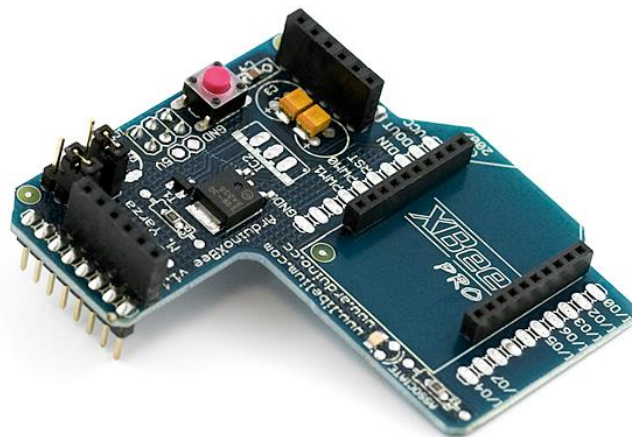


Figura 4-9 Shield XBee para interface com o Arduino Uno, [14].

4.2.1.6 CON-USBBEE

Para fazer a configuração módulo a módulo XBee da rede e para introduzir um computador à rede ZigBee, utilizou-se o adaptador CON-USBBEE que,

basicamente, converte USB-Serial, nos dois sentidos. O adaptador usado é visto na Figura 4-10.

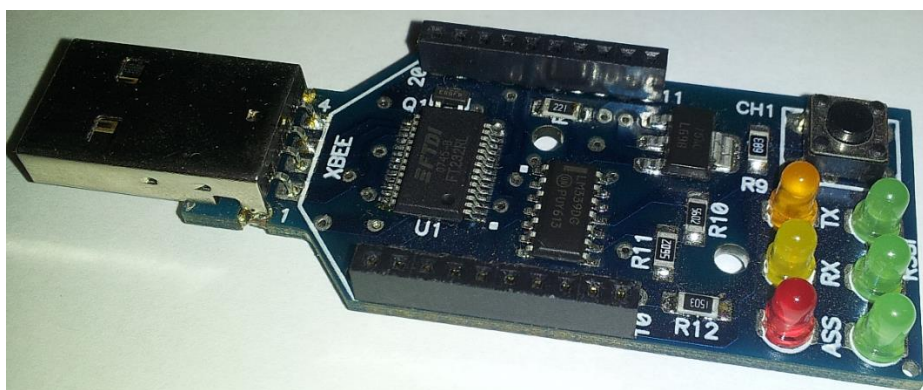


Figura 4-10 Adaptador CON-USBEE.

O adaptador possui um conjunto de LEDs na sua parte inferior, como pode ser visto na Figura 4-11, sendo os verdes na parte inferior para indicar a intensidade do sinal recebido, o vermelho da esquerda para indicar que o adaptador está ligado e os dois restantes, amarelo e laranja, para indicar os sinais de RX e TX, respectivamente.



Figura 4-11 Detalhes dos LEDs do CON-USBEE.

4.2.1.7 Sensores de Temperatura e Luz

A temperatura no ambiente foi medida com o sensor LM35 e a luminosidade foi medida com um sensor LDR.

O LM35 é um sensor analógico, calibrado diretamente em graus Celsius. Possui um fator linear de escada de 10 mV/°C e 0.5°C de precisão. Seus limites de detecção na configuração simples – conectando-se diretamente aos três pinos do mesmo – são 2°C e 150°C, suficiente para o projeto. Este sensor, que

pode ser visto na Figura 4-12, foi escolhido para este projeto visto não ser necessário grande acurácia do valor medido.



Figura 4-12 LM35: sensor de temperatura, [15].

Usando um conversor A/D é possível fazer a leitura desse sensor tendo em mente que o mesmo tem uma saída incrementada de 10mV por grau Celsius. Requer uma baixa corrente, 60 μ A, e também possui um baixo aquecimento, apenas 0.08 $^{\circ}$ C. Este sensor não requer calibração, uma vez que no momento da produção o mesmo já é calibrado, [15].

O Resistor Sensível à Luz (LDR - *Light Dependent Resistor*), Figura 4-13, é um componente passivo que tem sua resistência alterada de acordo com a incidência de luz no mesmo. À medida que a intensidade luminosa aumenta, sua resistência diminui. Dessa forma, pode-se ter acesso à luminosidade por meio da leitora analógica do valor da tensão sobre o sensor.

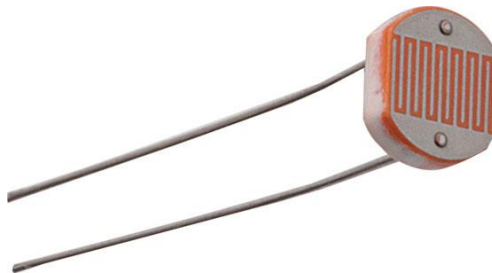


Figura 4-13 Resistor sensível à luz, [16].

4.2.2 Software

4.2.2.1 Linguagem de Programação C#

O C# (leia-se C “sharp”) é uma linguagem de alto nível, orientada a objeto e que permite os desenvolvedores construir uma variedade de aplicações seguras e robustas, compatíveis com o .NET Framework. O C# pode ser usado para criar aplicações tradicionais do Windows, serviços WEB baseados em XML, componentes distribuídos, aplicativos cliente-servidor, aplicativos com banco de dados e muito mais.

A sintaxe do C#, se tratando de uma linguagem de alto nível, é altamente expressiva. Ela é facilmente assimilada por qualquer pessoa que tenha algum conhecimento prévio de C, C++ ou Java. A sintaxe do C# simplifica muito a complexidade do C++ e fornece recursos poderosos como tipos de valor nulo, enumerações e acesso direto à memória, que não são encontrados no Java.

O Interop permite aos programas C# interagir com outros softwares Windows como objetos COM ou DLLs Win32 nativas, fazendo quase tudo que uma aplicação nativa C++ pode fazer.

O processo de compilação do C# é simples comparado com C++ e mais flexível que em Java. Não há arquivos de cabeçalho separados, e não há a necessidade de que métodos e tipos sejam declarados em uma ordem específica. Um arquivo de código em C# pode definir qualquer número de classes, estruturas, interfaces e eventos, [17].

4.2.2.2 Octane SDK

O kit de desenvolvimento Octane, ou Octane SDK, possui bibliotecas desenvolvidas nas linguagens C# e C++ que aumentam a usabilidade das leitoras RFID da marca Impinj por simplificar o processo de criação das aplicações para os equipamentos dessa marca. Ele, o Octane SDK, faz isso por tornar transparente para o desenvolvedor da aplicação toda a parte de programação em baixo nível da leitora, que deveria ser feita no Protocolo de Baixo Nível da Leitora (LLRP - *Low Level Reader Protocol*). Ou seja, o uso das bibliotecas dessa SDK proporciona um controle sobre as configurações da leitora, sobre o processo de leitura e escrita das etiquetas em alto nível, o que reduz o esforço necessário para manipular as inúmeras funcionalidades existentes na Leitora da marca Impinj.

Além das bibliotecas citadas anteriormente, o Octane SDK ainda é composto por exemplos ilustrando aplicações, modelos e documentação de ajuda disponível on-line.

4.2.2.3 SQL Express 2012

O Microsoft SQL é um SGBD – Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional - desenvolvido pela Microsoft. É um software cuja principal função é

a de armazenar e recuperar dados solicitados por outras aplicações de software, seja no mesmo computador ou em execução em outro computador através de uma rede local ou internet. Há pelo menos uma dúzia de diferentes edições do Microsoft SQL destinadas aos mais diferentes públicos e para diferentes cargas de trabalho (variando de pequenas aplicações que armazenam e recuperam dados no mesmo computador, a milhões de usuários e computadores que acessam grandes quantidades de dados a partir da Internet ao mesmo tempo). Suas linguagens de consulta principais são T-SQL e ANSI SQL.

O Microsoft SQL Server Express é um sistema gratuito de gerenciamento de dados avançado e confiável que fornece um repositório de dados confiável e avançado para aplicações leves, [18], [19].

4.2.2.4 Visual Studio 2012

O Microsoft Visual Studio é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE - *Integrated Development Environment*) da Microsoft. Ele é usado para desenvolver aplicações para console a aplicações com interfaces gráficas complexas associadas a aplicações *Windows Forms*, web sites, aplicações web ou serviços web.

A IDE inclui um editor de código com a tecnologia IntelliSense, que prevê e completa de forma automática termos no código, e um sistema de reconstrução de código. Entre as ferramentas incluídas estão um *designer* de formulários para a construção de aplicações com interface gráfica para o usuário (LightSwitch), *web designer*, *designer* de classe e *designer* de esquema de banco de dados.

A IDE ainda suporta diferentes linguagens de programação que permite que o editor de código e depurador (em diferentes níveis) manipulem quase qualquer linguagem de programação. As linguagens de programação aceitas por padrão são: C, C++, VB.NET (Visual Basic .NET), C# e F# (a partir do Visual Studio 2010), [20].

O Microsoft Visual Studio 2012 Ultimate foi adquirido de forma gratuita através do programa Microsoft DreamSpark, que oferece um vasto pacote de programas aos alunos de instituições de ensino associadas. Foram desenvolvidas duas aplicações nessa IDE: uma feita para atualizar o banco de dados, escrita em C# para console; e uma segunda feita com a auxílio da ferramenta LightSwitch feita para criar, popular e manter o banco de dados.

Como dito anteriormente, a ferramenta LightSwitch foi escolhida por fornecer um ambiente de desenvolvimento simplificado que permite manter o foco na lógica de negócio da aplicação. Dessa forma, foi possível desenvolver um programa robusto com a interface amigável, apesar de pesada computacionalmente.

4.2.2.5 Modbus

O protocolo estabelece a comunicação entre dispositivos segundo a relação mestre-escravo. Nesta relação, somente o mestre (único por rede) pode fazer requisições e os demais dispositivos (escravos) respondem a essas requisições mandando as informações pedidas ou realizando algum tipo de tarefa.

O protocolo equivale à camada de aplicação e pode utilizar o RS-232, RS-485 ou Ethernet como meios físicos. Para a comunicação serial são definidos dois modos de transmissão: ASCII e RTU. O modo de transmissão define a codificação da mensagem em mais baixo nível, bit a bit, a ser transmitida na rede e como a informação da mensagem será empacotada e desempacotada na mensagem. Além do modo de transmissão, na comunicação serial ainda se determinam parâmetros como *baudrate*, paridade e etc.

Neste projeto foi utilizado o modo de transmissão RTU na comunicação serial. Optou-se por este modo por ele ser o mais usado em implementações Modbus e por gerar mensagens com menor número de bits, reduzindo a chance de erro e a necessidade de reenvio de mensagens. No modo RTU os endereços e valores são representados em formato binário. Cada caractere tem o tamanho de 4 bits, ou seja, a cada byte transmitido são codificados dois caracteres. Números inteiros variando entre -32768 e 32767 podem ser representados por 2 bytes.

A mensagem enviada por um mestre é direcionada a um escravo específico usando o endereço deste. No caso da mensagem ser enviada por um escravo, resposta a uma requisição, o mesmo coloca o seu próprio endereço no campo “Endereço do Escravo” de forma a permitir que o mestre identifique a origem da mensagem. Uma mensagem RTU tem o formato padrão como pode ser visto na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 Formato da mensagem Modbus-RTU, [21].

Endereço do Escravo	Código da Função	Dados	CRC
1 byte	1 byte	0 a 252 bytes	2 bytes (CRC-16)

O Modbus pode implementar até 255 funções, variando de 1 a 255. Mas, na prática, são usadas até 10 funções, como pode ser visto na Tabela 4-2. Neste trabalho, foram usadas apenas 2 funções: 3 e 5. O campo de dados da mensagem é preenchido por alguma informação trocada entre mestre-escravo e o campo CRC é usado para verificar a integridade da mensagem.

Tabela 4-2 Exemplos de funções mais usadas em implementações Modbus, [21].

Código da Função	Descrição
01	Lê um número variável de saídas digitais (bobinas)
02	Lê um número variável de entradas digitais
03	Lê um número variável de registros retentivos (saídas analógicas ou memórias)
04	Lê um número variável de registros de entrada (entradas analógicas)
05	Força uma única bobina (altera o estado de uma saída digital)
06	Predefinir de um único registro (altera o estado de uma saída analógica)
07	Lê exceções (registros de erro)
08	Várias funções de diagnóstico
15	Força uma quantidade variável de bobinas (saídas digitais)
16	Predefinir de uma quantidade variável de registros (saídas analógicas)

Utilizou-se ainda Modbus/TCP para estabelecer a comunicação entre a aplicação corporativa e o software SCADA usado, ScadaBR. Nesta implementação, os dados são encapsulados em formato binário em frames TCP para usarem do meio físico Ethernet (IEEE 802.3), [21].

4.2.2.6 X-CTU

O X-CTU é um *software* de uso exclusivo da empresa Digi, antiga MaxStream, e a sua principal funcionalidade é configurar e testar os módulos de rádio – XBee – produzidos pela própria empresa. O *software* apresenta a intensidade do sinal recebido na comunicação entre dois ou mais módulos

XBee's, atualiza o *firmware* do módulo, testa a comunicação verificando os pacotes enviados e recebidos e pode se integrar com outros *softwares* de teste, [22].

Para se fazer a configuração de um módulo XBee através do programa X-CTU pode-se usar tanto um Arduino, sem o seu processador ATmega, ou com o Shield XBee, como o CON-USBEE (Figura 4-10). Neste projeto, por questão de praticidade, foi usado o CON-USBEE.

Anteriormente à configuração, conecta-se o módulo XBee ao CON-USBEE e, então, conecta-se este ao computador. Com o X-CTU aberto, configura-se o BaudRate, como pode ser visto na Figura 4-14, e clica-se em “Test – Query”. Não ocorrendo nenhum problema, clica-se na aba “Modem Configuration”, como pode ser visto na Figura 4-15, e então em “Read” para ler os dados atuais do módulo e configura-lo.

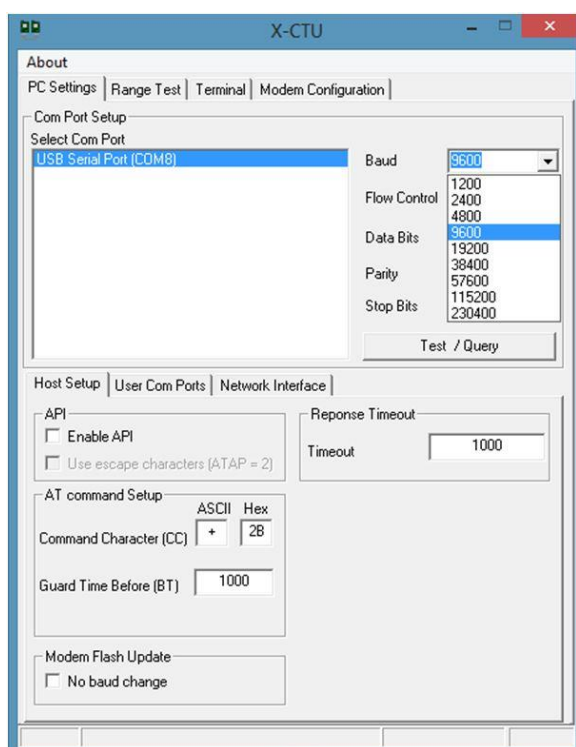


Figura 4-14 X-CTU, usado para configuração do módulo XBee.

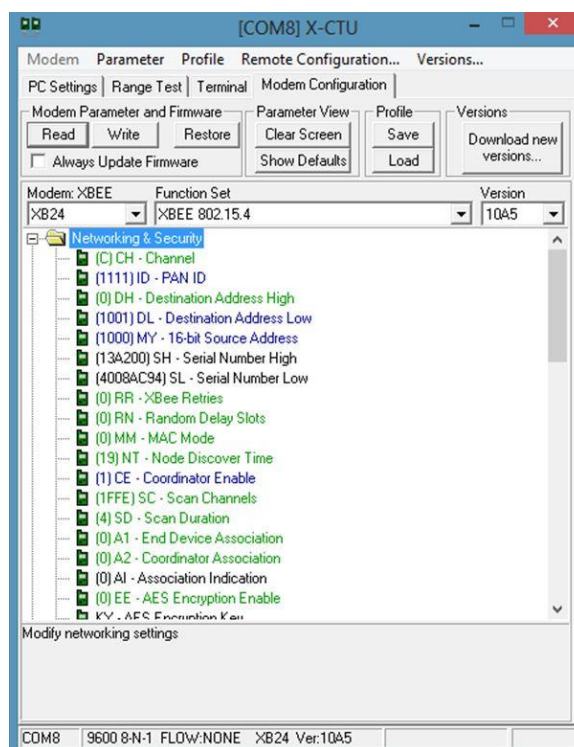


Figura 4-15 X-CTU, usado para configuração do módulo XBee.

A configuração usada nos XBee's, após restaurá-los às configurações de fábrica, neste projeto podem ser vistas na Tabela 4-3.

Tabela 4-3 Configuração dos XBee's.

Coordenador	Escravos	Parâmetros
0	0	AP – Modo Transparente
0C	0C	CH – Canal de Comunicação
1000	1001	MY – Endereço do Módulo
1001	1000	DL – Endereço de Destino
1111	1111	ID – <i>Personal Area Network Identification</i>

Após fazer a configuração de cada XBee, deve-se gravar a mesma clicando em “Write”.

O coordenador da Tabela 4-3 é o módulo XBee conectado ao CON-USBEE e ligado ao computador. Ele é responsável por centralizar as informações dos escravos, demais módulos XBee na rede que estão conectados a Arduinos, enviando comandos e recebendo informações dos ambientes monitorados.

4.2.2.7 ScadaBR

O ScadaBR (Figura 4-16) é um supervisor SCADA novo (5 anos desde a primeira versão) e completo, disponibilizado de forma gratuita, baseado em Java, compatível com computadores rodando Linux, Windows e pode ser executado a partir de um servidor de aplicações. O aplicativo é executado a partir de um navegador de Internet, preferencialmente Chrome ou Mozilla.



Figura 4-16 Logo do ScadaBR, [23].

Conta com várias funcionalidades como: comunicação com sensores, CLP's e muitos outros dispositivos através dos mais diversos protocolos de

comunicação como OPC, Modbus Serial, Modbus TCP/IP, Bacnet entre outros; permite criação de telas para visualização e atuação no sistema; permite geração de gráficos e relatórios; programação em *Scripting* para manipulação das variáveis existentes; gerenciamento e detecção de alarmes e eventos; controle de eventos e processos incluindo o envio remoto de parâmetros e *set-points*, acionamento e comando de equipamentos, [23].

4.3 Produzido

No sistema de rastreamento de usuários e automação predial propostos fez-se necessário o desenvolvimento de programas próprios e o uso de um comercial. Com o intuito de preservar a hierarquia existente, apresentada no subitem 3.1.4, foram desenvolvidos dois programas que operam sobre um banco de dados SQL Express. O primeiro programa, representando a aplicação corporativa, recebeu o nome de GerenteBD. O segundo programa, representando a aplicação *middleware*, recebeu o nome de ClienteBD. O banco de dados estabelecido, SQL Express, serve de interface de comunicação entre os dois programas por meio das entidades: Ambientes, Antenas, Etiquetas, Históricos, Leitoras e Usuários. Para lidar com a informação obtida do sistema de rastreamento e atuar nos ambientes foi usado o programa supervisorio ScadaBR em conjunto com módulos remotos baseados em Arduino.

4.3.1 Aplicação Corporativa

O GerenteBD, programa que representa a aplicação corporativa, é a principal interface de operação do usuário (operador) com o sistema de rastreamento de usuários. Por conta disto, esse programa foi desenvolvido com uma interface gráfica simples, fluida e completa. As telas da aplicação corporativa estão disponíveis no Anexo F.

O operador do sistema, por meio do GerenteBD, é capaz de configurar todo o sistema e monitorar o seu funcionamento. Durante a configuração inicial, o operador deve adicionar os Ambientes a serem monitorados. Em seguida, adicionar as leitoras e antenas instaladas e associar a cada antena dois ambientes aos quais ela faz fronteira. E, por último, adicionar usuários e associar a cada um deles etiquetas únicas. Tais telas de configuração pode ser vistas na Figura 4-17.

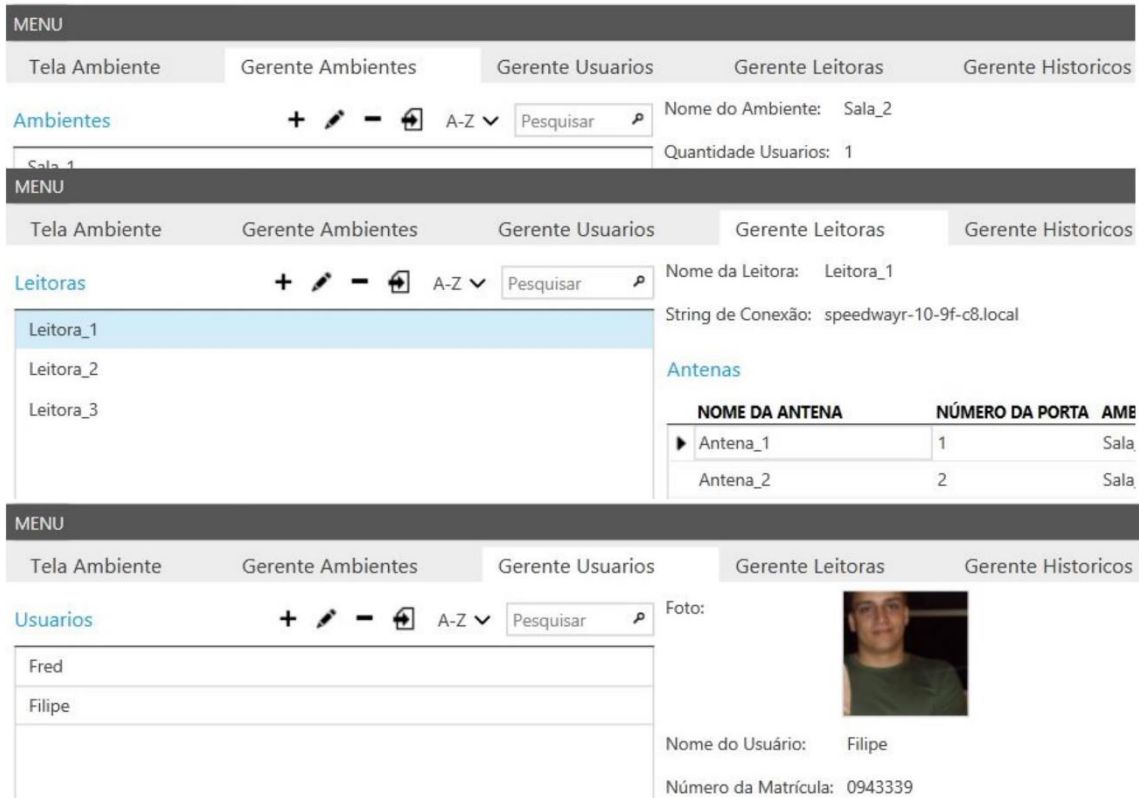


Figura 4-17 Telas de configuração da aplicação corporativa.

Após a configuração inicial, o operador poderá ter acesso, por meio do GerenteBD, a informações sobre a localização dos demais usuários nos ambientes através da tela inicial da aplicação (Figura 4-18), poderá adicionar novos usuários, poderá associar/dissociar etiquetas únicas a usuários novos e a existentes e poderá ter acesso ao histórico das mudanças de estado de cada ambiente. Esta última funcionalidade, manutenção de um registro de histórico das mudanças de estado, foi adicionada ao sistema como forma de gerar dados para estudar a funcionalidade do sistema de automação predial proposto. Dessa forma, toda vez que o ambiente ficar vazio ou deixar de estar vazio, um registro de histórico é gerado. Retirada da Figura 4-2, a Figura 4-19 representa inserção da aplicação corporativa no sistema de rastreamento e automação propostos.



Figura 4-18 Tela inicial da aplicação corporativa.

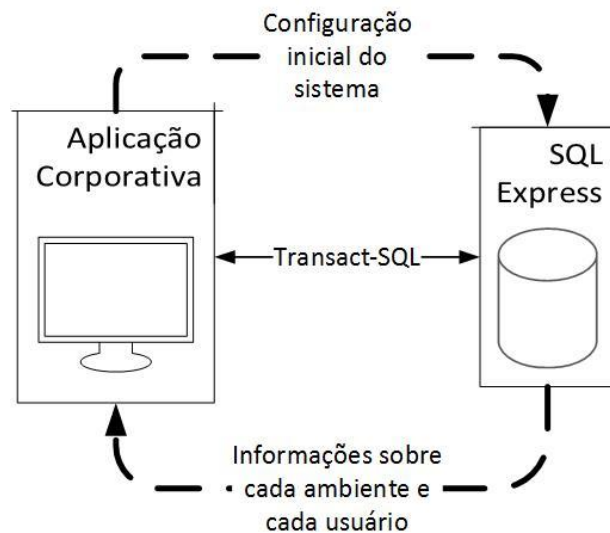


Figura 4-19 Inserção da Aplicação Corporativa no sistema de rastreamento e automação propostos.

O programa GerenteBD foi desenvolvido na linguagem C# com o auxílio da ferramenta LightSwitch, que compõe o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) Microsoft Visual Studio 2012. Essa ferramenta ajudou com o processo de criação do banco de dados e desenvolvimento da interface gráfica do programa.

4.3.2 Aplicação Middleware

O ClienteBD, programa que representa a aplicação *middleware*, opera entre as leitoras e a aplicação corporativa. A aplicação *middleware* desenvolvida, ClienteBD, é responsável por comandar as consultas às leitoras, de forma síncrona, e atualizar a localização dos usuários nos ambientes. Por uma questão de desempenho, o programa foi desenvolvido para rodar via console. Retirada da Figura 4-2, a Figura 4-21 representa inserção da aplicação *middleware* no sistema de rastreamento e automação propostos.

O programa ClienteBD, assim que é inicializado, conecta-se ao banco de dados e recupera a configuração inicial do sistema feita pelo usuário por meio da aplicação corporativa. Como uma medida de reduzir o número de consultas feitas ao banco de dados, as configurações pouco alteradas durante o funcionamento do sistema (tais como ambientes e leitoras) são logo carregadas em listas.

A partir das listas de leitoras o programa se conecta às leitoras de RFID e checa se cada antena foi corretamente conectada à porta de sua respectiva leitora. A lista de ambientes é atualizada pelo banco de dados com as informações (distribuição dos usuários pelos ambientes) da última utilização do programa. Essa lista, lista de ambientes, é usada para comandar luzes e ar condicionado de cada ambiente (no caso de não usar um SCADA dedicado) e, ainda, por disponibilizar as informações mais pertinentes dos Ambientes (identificador e a soma da carga térmica dos usuários presentes em cada ambiente monitorado) via protocolo Modbus.

```
Leitoras e Antenas identificadas no Banco de Dados:

Nome da Leitora: Leitora_1 | Temperatura: 50°C | Configurada e Iniciada: True |
Conectada a Aplicação: True
String de Conexão: speedwayr-10-9f-c8.local
Antena ligada a porta 1 conectada: True
Antena ligada a porta 2 conectada: True
Antena ligada a porta 3 conectada: False
Antena ligada a porta 4 conectada: False

Nome da Leitora: Leitora_2 | Temperatura: 52°C | Configurada e Iniciada: True |
Conectada a Aplicação: True
String de Conexão: speedwayr-10-9f-3f.local
Antena ligada a porta 1 conectada: True
Antena ligada a porta 2 conectada: False
Antena ligada a porta 3 conectada: False
Antena ligada a porta 4 conectada: False

Nome da Leitora: Leitora_3 | Temperatura: 53°C | Configurada e Iniciada: True |
Conectada a Aplicação: True
String de Conexão: speedwayr-10-9f-bb.local
Antena ligada a porta 1 conectada: True
Antena ligada a porta 2 conectada: True
Antena ligada a porta 3 conectada: False
Antena ligada a porta 4 conectada: False

Sistema de rastreamento de Usuarios INICIADO: True
Sistema ModBus Escravo INICIADO: True

Opções:
1. Iniciar Sistema de Rastreamento de Usuarios
2. Interromper Sistema de Rastreamento de Usuarios
0. Encerrar aplicação.
```

Figura 4-20 Tela inicial da aplicação Middleware.

Um menu, via Console, Figura 4-20, é apresentado ao operador do sistema. Esse menu traz informações referentes aos estados das leitoras e antenas, estado do escravo Modbus implementado e estado do sistema de consultas síncronas às leitoras (rastreamento de usuários). Além disto, esse menu ainda traz as opções para iniciar/interromper o sistema de rastreamento.

O sistema de rastreamento de usuários consiste em consultas síncronas feitas às leitoras. A cada consulta, o sistema recupera da leitora as etiquetas que foram lidas após a consulta anterior. Além do número EPC, a leitora ainda informa a antena que leu a respectiva etiqueta.

O número EPC da etiqueta identifica o usuário. A antena identifica dois possíveis ambientes, um dos quais é o ambiente de origem e o outro o ambiente de destino do usuário. Por meio do banco de dado sabe-se o último ambiente do usuário, dessa forma, por exclusão, sabe-se identificar qual dos dois ambientes identificados pela antena é o ambiente de origem (mesmo do banco de dados) e qual é o ambiente de destino.

O usuário é então atualizado, o ambiente de destino é armazenado em sua tabela como ambiente atual. A lista de ambientes é atualizada e o usuário acrescentado na contagem do ambiente de destino. A lista de ambientes serve, então, de molde para atualizar as informações no banco de dados e no escravo Modbus. Além disso, no caso de não ser usado um programa supervisor auxiliar, a lista de ambientes pode fazer com que o próprio ClienteBD atue sobre luzes e ar condicionado de cada ambiente.

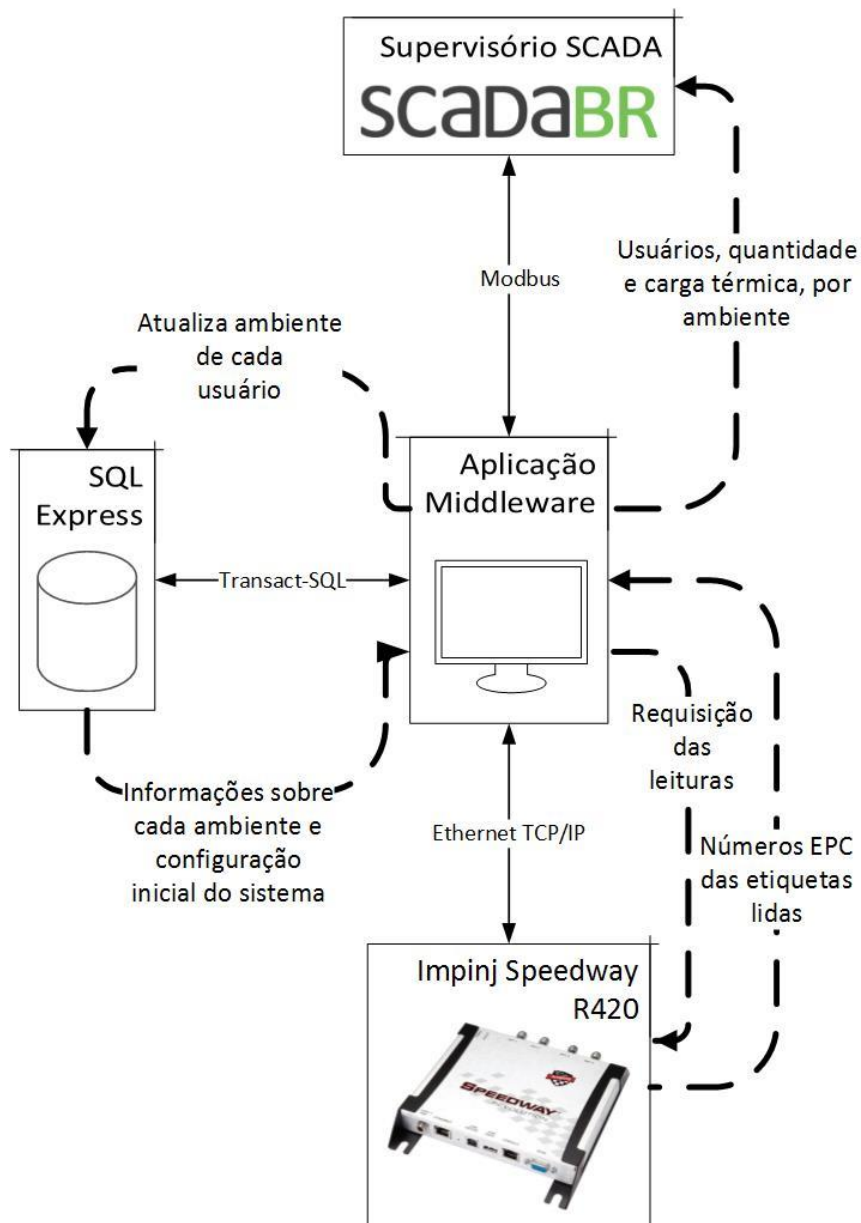


Figura 4-21 Inserção da Aplicação Middleware no sistema de rastreamento e automação propostos.

Como pode ser percebido, o sistema de rastreamento de usuários é na verdade uma cascata de eventos. O desenvolvimento em si não foi algo complexo, a maior dificuldade foi lidar com a interferência do ambiente.

As etiquetas passivas continuam respondendo às requisições das leitoras enquanto estiverem íntegras fisicamente. Isso representa uma grande quantidade de informação desnecessária a ser tratado pelas leitoras e pelo programa ClienteBD. Como forma de impedir que cada uma dessas etiquetas inicie um processo cascata de identificação de Usuário, o sistema mantém uma lista das etiquetas que não estão associadas a nenhum usuário do sistema e impede que elas iniciem o processo de identificação. O critério que faz uma etiqueta entrar nessa lista é ter alcançado um número máximo de buscas por Usuário sem sucesso.

Outra dificuldade encontrada no ambiente monitorado, e que merece destaque, é a possibilidade de leituras duplicadas. Isso acontece quando o usuário passa pela antena e coincide com mais de um período do ciclo de consultas às leitoras. O sistema desenvolvido, automaticamente, colocaria o Usuário de volta ao Ambiente de origem. Por conta disso, implementou-se um artifício que faz com que o Usuário não possa ser alterado de Ambiente durante um intervalo mínimo de tempo.

O programa em questão, ClienteBD, foi desenvolvido na linguagem C# com o auxílio da IDE Microsoft Visual Studio 2012 e da biblioteca Octane SDK. Por se tratar de uma linguagem orientada objeto, o programa é estruturado em classes e cada classe possui uma função específica. As classes implementadas no programa foram:

- AcessoAmbientes: classe criada para ser a unidade da lista de Ambientes. Armazena identificador, nome, quantidade de usuários, carga térmica total, estados das luzes e ar condicionado de cada ambiente.
- AcessoBD: classe criada para cuidar de todos os acessos ao banco de dados.
- AcessoEtiquetas: classe criada para ser a unidade da lista de Etiquetas que não fazem parte do sistema de automação desenvolvido.
- AcessoLeitoras: classe criada para cuidar de todos os acessos às leitoras.
- AcessoModbus: classe criada para implementar o escravo Modbus, contendo todos os atributos e métodos necessários para tal fim.
- AcessoMundo: classe criada para comandar luzes e ar condicionado de cada ambiente. Usada na ausência de um programa SCADA dedicado.

- AcessoWebCam: classe criada para implementar o uso da WebCam, adicionando uma foto dos ambientes, quando um registro de histórico for gerado.
- Apresentacao: classe responsável por gerar as telas no console.
- Constantes: classe que mantém as constantes para serem mais facilmente alteradas.
- Menu: ponto de entrada do programa, local da função main().

4.3.3 Banco de Dados Baseado em SQL

O banco de dados desenvolvido neste projeto, com o auxílio da ferramenta SQL Express 2012, tem como principais funcionalidades estabelecer a base de dados necessária para a operação do sistema de automação predial e, ainda, atuar como meio de comunicação, interface, entre os dois programas desenvolvidos, GerenteBD e ClienteBD.

Optou-se por trabalhar com banco de dados, populando e mantendo a base de dados, como uma forma de assegurar a operação desse sistema em tempo real, evitando colisões entre leitura e escrita na mesma posição por exemplo. Além disso, os processos de busca, atualização e inserção na base de dados são facilitados e otimizados quando feitos via uma ferramenta especializada, tal como o SQL Express usado.

O banco de dados SQL, além de base de dados, atuou como interface entre os dois programas desenvolvidos. O GerenteBD ficou responsável por popular o banco de dados adicionando Ambientes, Leitoras, Antenas, Usuários e Etiquetas, e, ainda, ficou responsável por apresentar ao operador do sistema a situação atual do sistema de rastreamento de usuários, atuando como um supervisor para tal sistema. O ClienteBD, por sua vez, ficou responsável por configurar o sistema a partir das informações contidas na base de dados (Ambientes, Antenas e Leitoras), atualizar os usuários presente em cada um dos Ambientes e gerar Históricos para cada mudança de estado dos Ambientes.

Na Figura 4-22 pode ser visto o diagrama do banco de dados SQL desenvolvido para a implementação do sistema de rastreamento e da automação predial propostos por este trabalho.

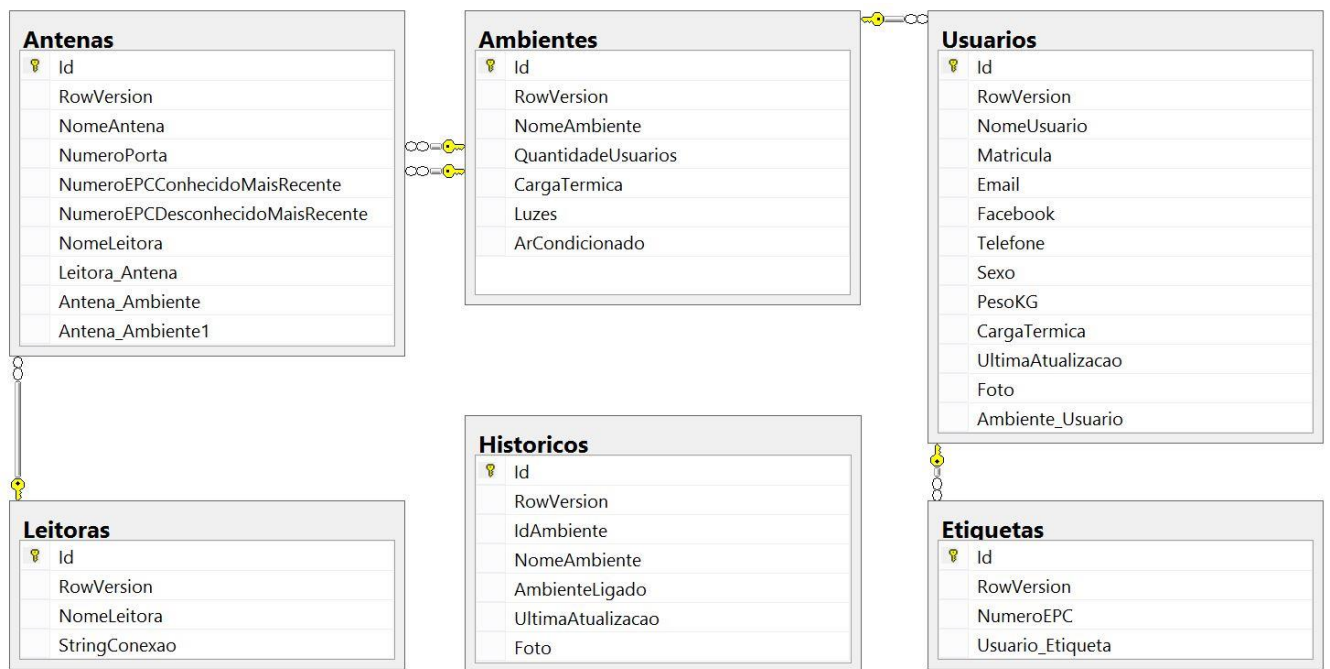


Figura 4-22 Organização do Bando de Dados: relação entre as entidades.

Como apresentado ao longo deste capítulo, a base de dados do banco de dados é formada por entidades do tipo: Ambientes, Antenas, Etiquetas, Históricas, Leitoras e Usuários.

Além de apresentar os tipos de entidades, a figura acima, ainda, apresenta a relação entre elas. Uma entidade tipo Antena aponta para duas entidades tipo Ambiente e uma única entidade tipo Leitora. Uma entidade tipo Usuário aponta para uma única entidade tipo Ambiente. Uma entidade Etiqueta aponta para uma única entidade tipo Usuário. Ou seja, uma Antena está associada à uma única Leitora que, por sua vez, pode estar associada a mais de uma Antena. Um Antena está associada à dois Ambientes. Um Usuário pode estar associado a um único Ambiente e estar associado a várias Etiquetas.

Uma entidade do tipo Ambiente representa um ambiente automatizado. Essa entidade armazena o nome do ambiente automatizado, quantidade de usuários no ambiente, a carga térmica correspondente à soma da carga térmica aproximada, gerada por cada um dos usuários e, ainda, armazena o estado das luzes e ar condicionado do ambiente.

Uma entidade do tipo Antena representa uma antena instalada no ambiente automatizado. Essa entidade armazena o nome da antena, a porta a qual a respectiva antena está conectada à leitora, a última etiqueta lida e pertencente a um usuário do sistema, a última etiqueta lida e não pertencente a

nenhum usuário do sistema, o nome da leitora a qual a antena está conectada, o identificador da leitora (identifica uma única entidade tipo Leitora), identificador dos ambientes os quais a antena faz fronteira (identifica cada um, uma única entidade do tipo Ambiente). Como estratégia de reduzir o número de consultas feitas ao banco de dados para rastrear os usuários, a entidade do tipo Antena foi carregada com mais informações que o necessário (nome da leitora, por exemplo) e, como forma de facilitar a associação de novas etiquetas a usuários, a entidade do tipo Antena armazena a última etiqueta lida e que não estava associada a nenhum usuário. Dessa forma, basta o operador do sistema buscar essa nova etiqueta na Antena e associá-la a um Usuário.

Uma entidade do tipo Etiqueta representa uma única etiqueta, que deve estar instalada entre o solado e a palmilha do calçado de cada usuário. Essa entidade armazena o número único de cada etiqueta, Número EPC, e o identificador do usuário (identifica uma única entidade do tipo Usuário) ao qual a respectiva etiqueta está associada.

Uma entidade do tipo Histórico representa um registro feito a cada mudança de estado de um ambiente. Essa entidade armazena o identificador do ambiente (identifica uma única entidade do tipo Ambiente), o nome desse ambiente, o atual estado do ambiente, o momento (dia e hora) em que o ambiente mudou para o estado atual e, como forma de assegurar o atual estado, uma foto do ambiente.

Uma entidade do tipo Leitora representa uma leitora instalada no ambiente automatizado. Essa entidade armazena o nome da leitora e o endereço de conexão da mesma.

Uma entidade tipo Usuário representa um usuário do ambiente automatizado. Essa entidade armazena nome do usuário, matrícula, e-mail, endereço do perfil no Facebook (com a finalidade de preencher a foto do usuário), telefone, sexo e peso (com a finalidade de calcular a carga térmica aproximada), [24], a carga térmica calculada, a última movimentação do usuário (dia e hora), foto do usuário e identificador do ambiente (identifica uma única entidade do tipo Ambiente) ao qual o usuário se encontra atualmente.

4.3.4 Aplicação no ScadaBR

4.3.4.1 A Aplicação

O *software* ScadaBR foi usado com o intuito de garantir a automação predial instalada. Se tratando de um *software* comercial, apesar de novo, é delegado a ele a responsabilidade de centralizar as informações e atuar nos ambientes automatizados. Além disto, por implementar dezenas de protocolos, o *software* garante grande flexibilidade para futuras expansões da automação instalada.

Inicialmente tentou-se usar o supervisor ActionView, pertencente à empresa SPIN Engenharia de Automação, mas por ser um *software* concebido para aplicações de grande porte, e por isso muito complexo, acabou trazendo complicações a partes simples do projeto. Optou-se então pelo ScadaBR, um *software* novo e em crescimento.

O trabalho com o ScadaBR trouxe a simplicidade na implementação do sistema como ponto positivo mas, por outro lado, apresentou algumas falhas de desenvolvimento. Talvez, por se tratar de uma aplicação SCADA relativamente recente, 5 anos desde a primeira versão, ele não implementa *buffer* nas saídas para as portas de comunicação, fazendo com que mensagens que iriam para dois escravos simultaneamente, ou mesmo duas mensagens simultâneas para um só escravo, colidissem e gerassem falha na comunicação. A solução encontrada para tal falha foi usar três redes XBee paralelas, uma para cada ambiente monitorado, onde cada rede é instalada em uma porta de comunicação do computador. A falha encontrada foi avisada aos responsáveis pelo programa ScadaBR, que se comprometeram a corrigi-la em versões futuras do programa.

Neste projeto, a aplicação Scada recebe informações e atua sobre os ambientes automatizados, unicamente, por meio do protocolo Modbus. Os ambientes são monitorados, lendo e atuando, por meio dos módulos Arduinos, que se comunicam através da rede Modbus via XBee, e por meio da aplicação Middleware, ClienteBD, que gerencia a localização dos usuários nos ambientes e disponibiliza, via Modbus, a quantidade de usuários e a carga térmica dos usuários por ambiente. Por meio desses dois canais Modbus a aplicação desenvolvida no ScadaBR é capaz de adaptar os ambientes aos usuários existentes.

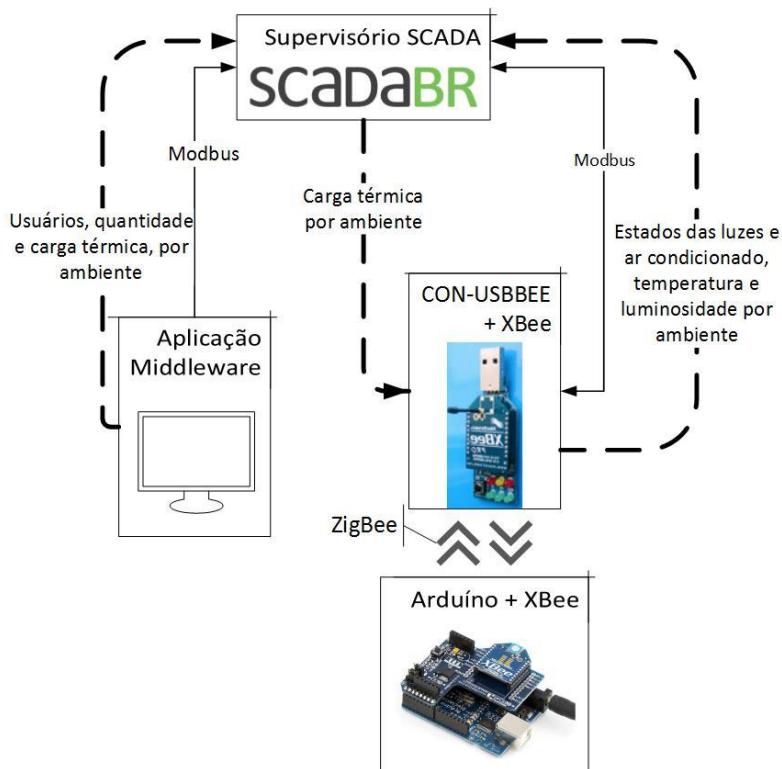


Figura 4-23 Inserção da Aplicação ScadaBR no sistema de rastreamento e automação propostos.

Retirada da Figura 4-2, a Figura 4-23 representa inserção da aplicação SCADABR no sistema de rastreamento e automação propostos. A construção da aplicação é iniciada com a adição de *Data Sources*, canais pelos quais são obtidos os dados. Primeiramente cria-se o *Data Source* da comunicação XBee, como pode ser visto na Figura 4-24.

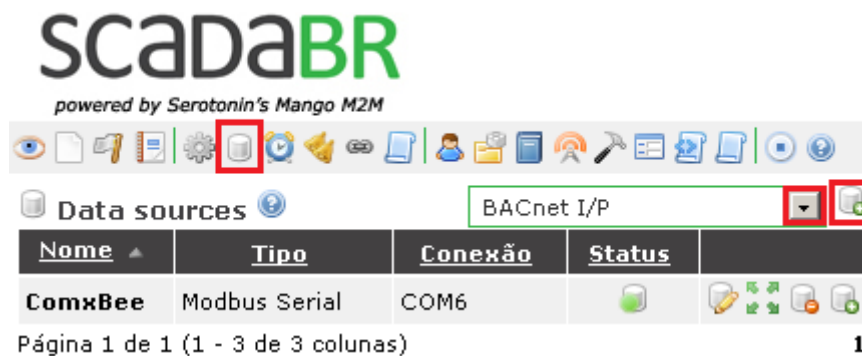


Figura 4-24 Criação do Data Source no ScadaBR.

A configuração usada no *Data Source* pode ser vista na Figura 4-25. Note que o protocolo utilizado foi o Modbus Serial com codificação RTU.

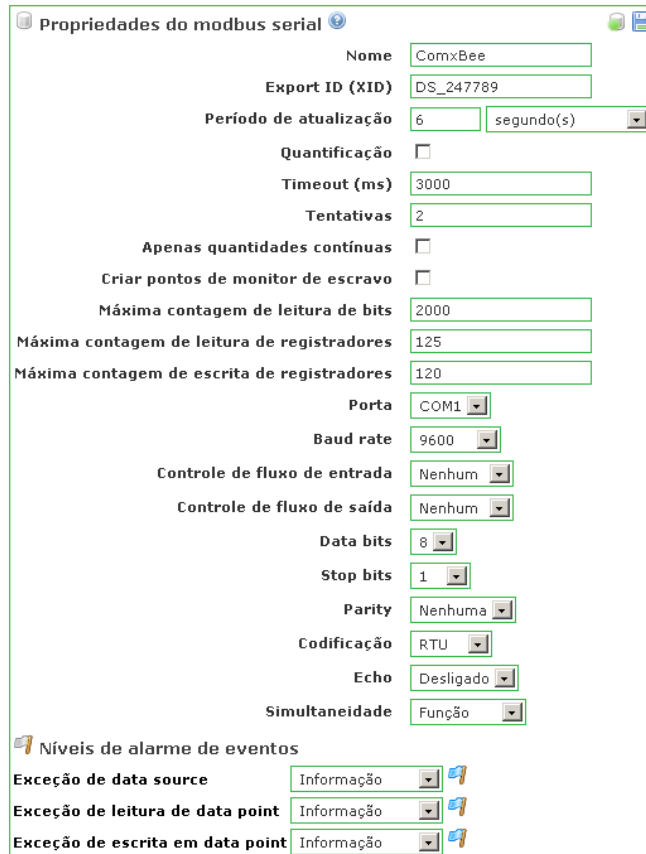


Figura 4-25 Configuração do Data Source no ScadaBR.

Em seguida, criam-se os *Data Points*, pontos a serem lidos ou atuados tal como a temperatura ou luz do ambiente. O *Data Source* criado, com todos os *Data Points*, pode ser observado na Figura 4-26.

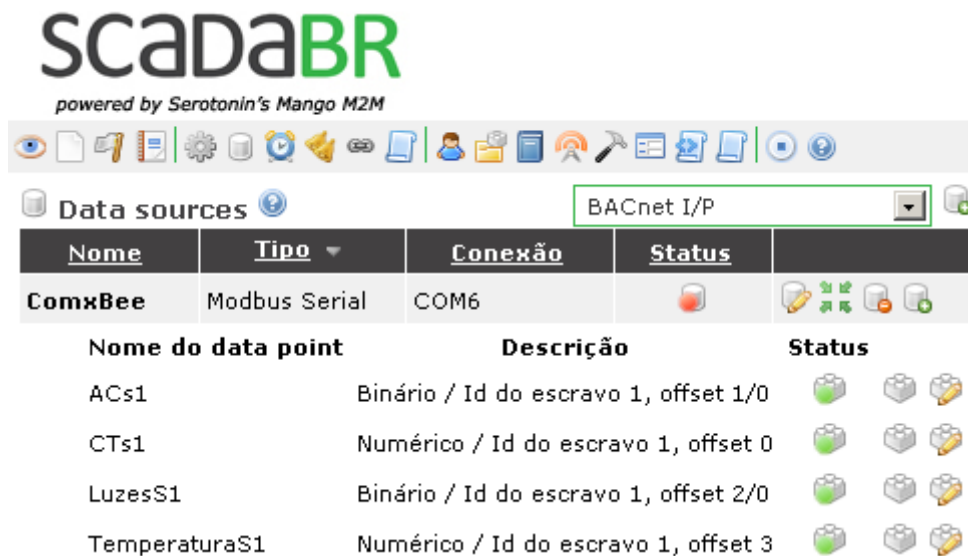


Figura 4-26 Data Source com os Data Points Modbus Serial RTU no ScadaBR.

O processo foi repetido para a criação do *Data Source* de comunicação com o programa ClienteBD através do protocolo Modbus TCP/IP, como pode ser visto na Figura 4-27.

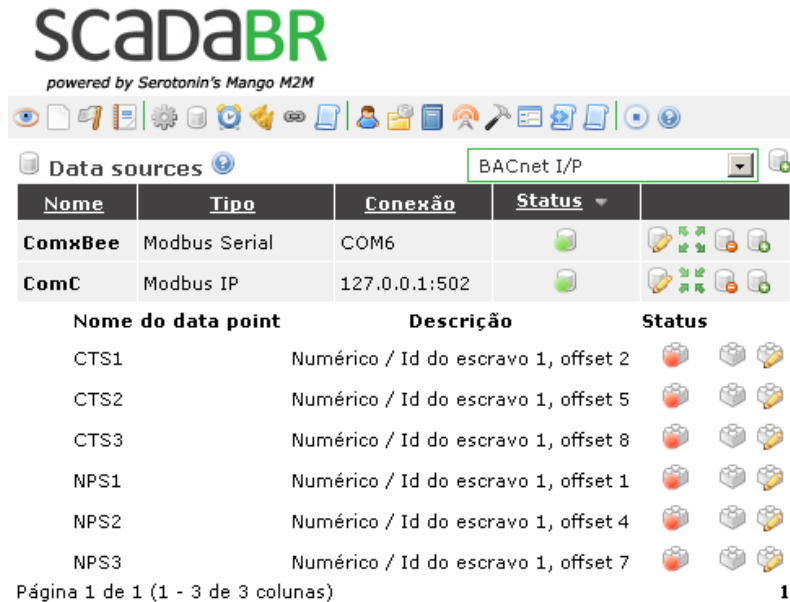


Figura 4-27 Data Source com os Data Points Modbus TCP/IP no ScadaBR.

Após a criação de cada variável, faz-se a associação interna delas para os sistemas, rede XBee e ClienteBD, se integrarem como pode ser visto na Figura 4-28.

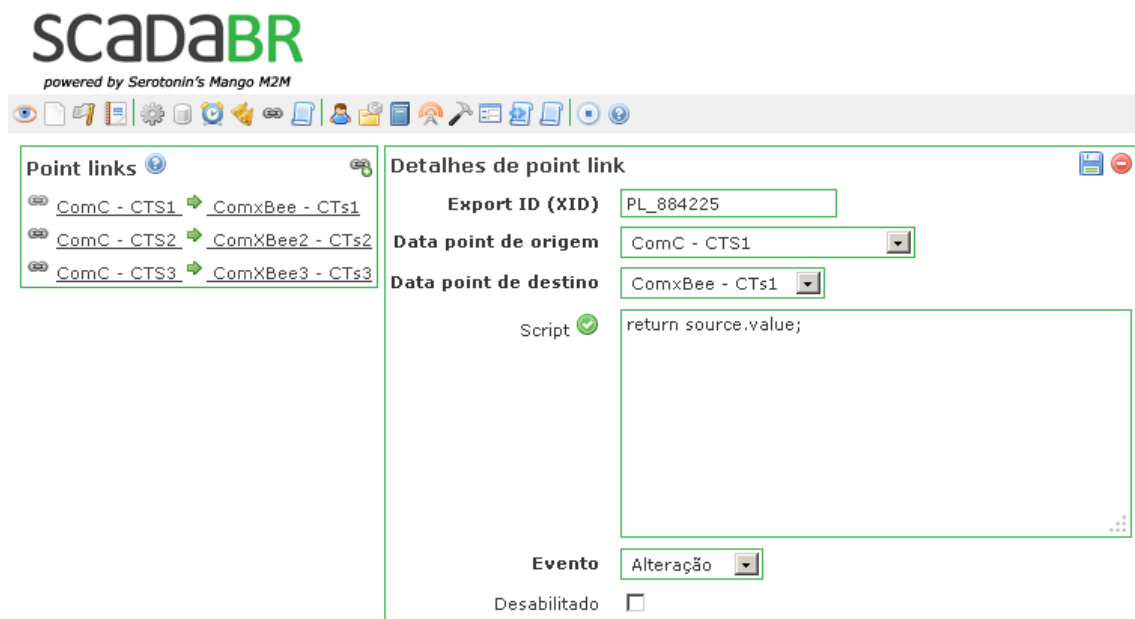


Figura 4-28 Point Links, logica implementada no ScadaBR.

Para o monitoramento do sistema existem duas interfaces, uma chamada *Watch list* e outra chamada Interface Gráfica. O *Watch list* é a interface com a lista de variáveis do sistema, com valores atualizados de acordo com a frequência configurada no *Data Source*, gráficos de cada variável, com registro dos valores variando no tempo. A interface *Watch list* é vista na Figura 4-29.

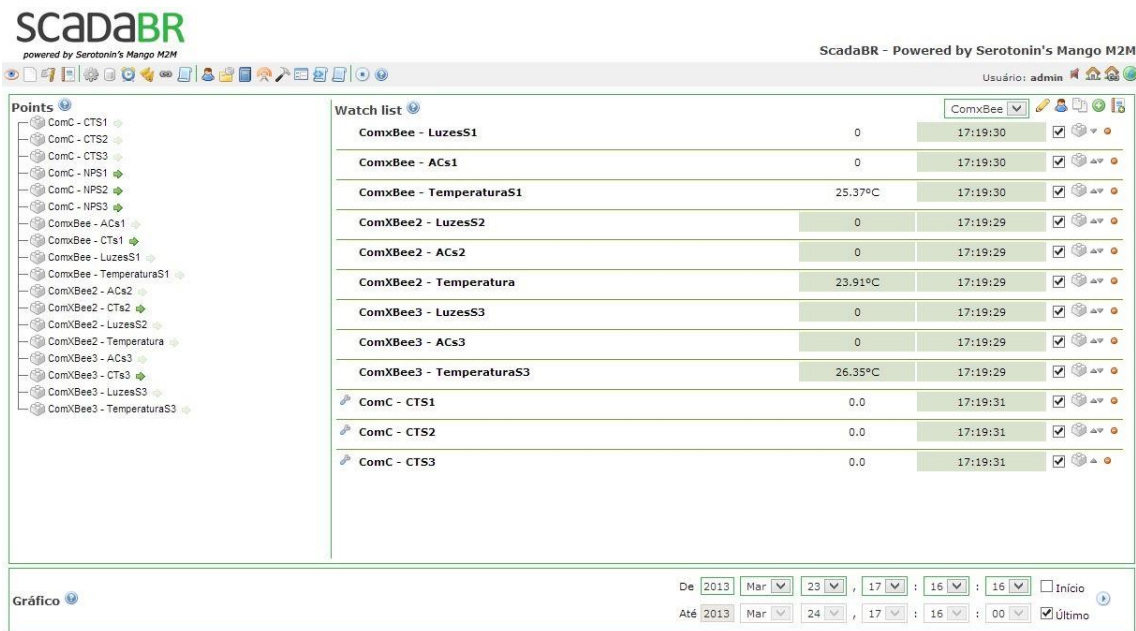


Figura 4-29 Watch List, interface com as variáveis utilizadas no ScadaBR.

A Interface Gráfica é uma forma mais intuitiva do operador ter acesso aos valores que realmente importam, como temperatura, número de pessoas no ambiente e os estados das luzes e ar condicionado, se ligados ou desligados. A interface é vista na Figura 4-30:

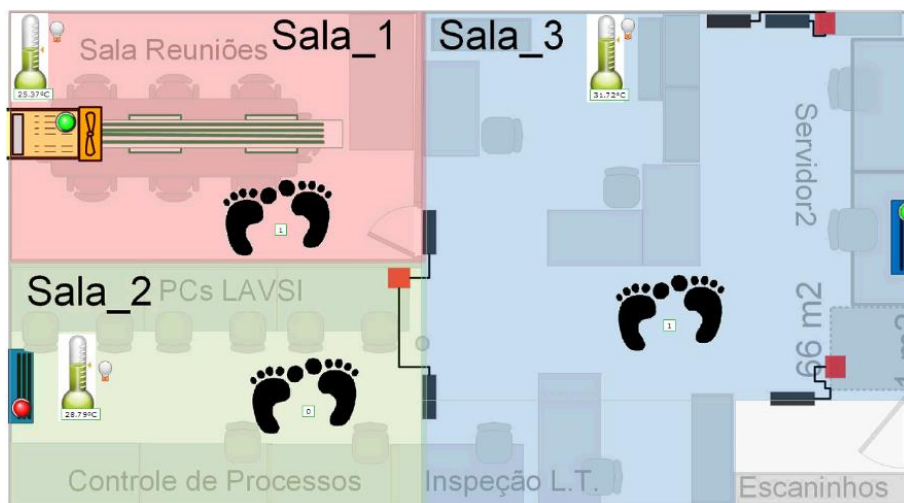


Figura 4-30 Interface Gráfica, interface com as variáveis essenciais para a aplicação do ScadaBR.

4.3.4.2 Módulos Construídos

Os módulos construídos neste projeto consistem em um Arduino, um *shield* XBee e um *shield* confeccionado para o projeto, cada *shield* deste último possui, um LM35, sensor de temperatura, um LDR (Light Dependent Resistor), e dois LED's, um para indicação do estado das luzes da sala e outro, infravermelho, para acionamento do ar condicionado, possui também um soquete para implementação futura de um sensor DHT11 ou DHT22, para poder-se obter informações de umidade e um soquete para relé para o real acionamento das luzes.

Tais módulos ficam situados nas salas 1, 2 e 3 e respondem aos comandos do ScadaBR enviados através da rede XBee, utilizando o protocolo Modbus.

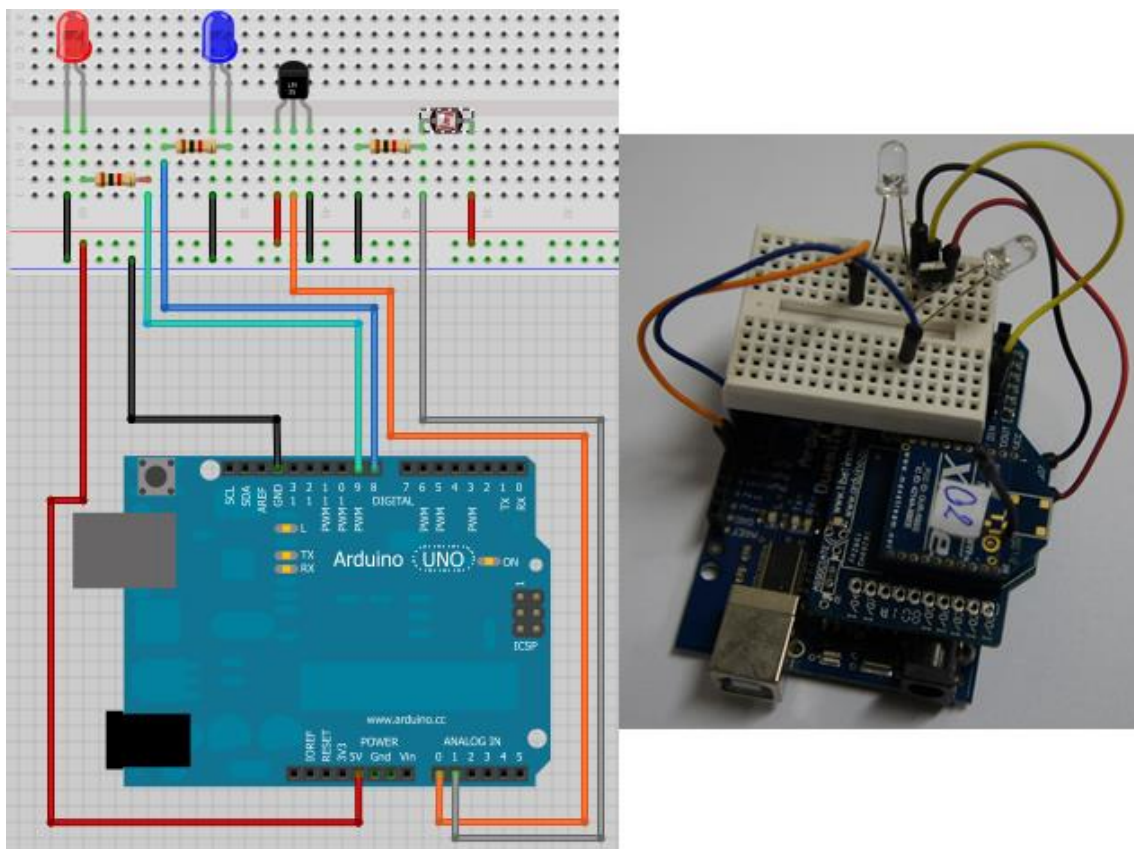


Figura 4-31 Módulo composto por Arduino, *shield* XBee, XBee, LED's e LM35 usado para os experimentos.

Alguns problemas foram encontrados durante o desenvolvimento dos módulos. Primeiro, pelo protocolo Modbus ser dependente do tempo, o ScadaBR precisa receber as respostas dos módulos em determinado intervalo de tempo,

caso contrário o supervisor entra em estado de erro. Devido a essa característica não se pode implementar bibliotecas no Arduino que contenham *delay*, dificultando assim a implementação de funcionalidades no módulo. Segundo, por boa parte do laboratório ser feito de metal, o sinal do XBee se perde facilmente, portanto os módulos foram posicionados para facilitar a comunicação. E por último, devido o ScadaBR não implementar um *buffer* na saída de dados, como já explicado na sessão 4.3.4.1, todos os dados a serem enviados para o Arduino devem estar na mesma mensagem.

4.4 Resultados

O presente trabalho, como dito anteriormente, propõe um sistema de rastreamento de usuários, a ser usado pela automação predial, e módulos, baseados em Arduino, para atuação nos ambientes. Como pode ser percebido, o trabalho em questão possui um forte apelo prático e, por conta disso, os experimentos realizados visam validar a inovação proposta para o rastreamento e auxiliar na configuração para otimizar a operação do sistema de rastreamento e, por consequência, da automação predial.

4.4.1 Investigação do Campo de Leitura da Antena

O rastreamento dos usuários proposto por este trabalho, como explicado anteriormente, é baseado na monitoração das fronteiras entre os ambientes. Em cada fronteira foi instalada uma antena de RFID para fazer as leituras das etiquetas, leia-se usuários, que por ali passarem. Tendo a informação do ambiente de origem de cada usuário, o sistema é capaz de identificar o ambiente de destino do mesmo após uma rápida comparação dos ambientes monitorados da antena que o leu. Dessa forma, percebe-se que para o correto funcionamento o sistema deve ser ajustado de forma a evitar falsas leituras e não ignorar nenhuma leitura que deveria ser feita. Ou seja, o sistema deve ser tolerante a usuários parados próximos à antena e suficientemente sensível para não perder nenhum evento de mudança de ambiente de um usuário.

A localização da etiqueta de RFID identificadora do usuário, posicionada entre o solado e a palmilha do calçado, é uma das partes mais críticas e fundamentais deste inovador sistema de rastreamento baseado na tecnologia de RFID passiva.

A partir do estudo preliminar feito, a etiqueta posicionada no local proposto dificultaria as falsas leituras visto o pé do usuário, composto por água dos tecidos e suor, ser uma barreira para as ondas eletromagnéticas na faixa de frequência adotada.

Como forma de validar essa suposição a respeito do local de instalação da etiqueta para a correta operação do sistema de rastreamento, experimentou-se o campo de leitura da antena em quinze pontos distribuídos de forma equidistante e próximos a ela. A grade usada para o experimento é vista na Figura 4-32, abaixo:

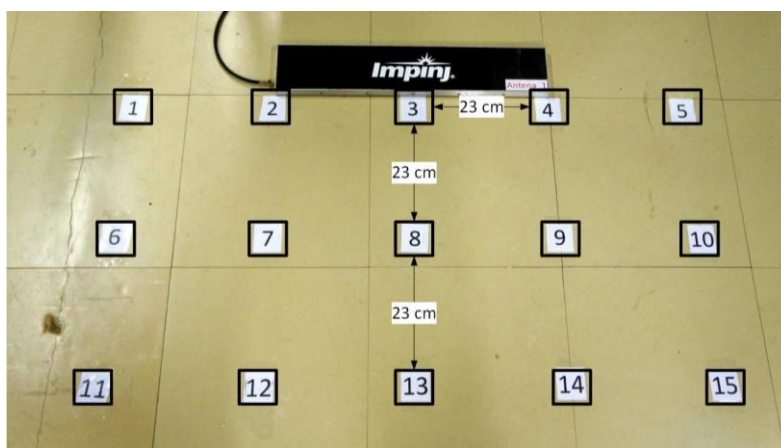


Figura 4-32 Grade para investigação do campo de leitura da antena de RFID modelo Threshold.

Foram experimentados quatro cenários para cada posição na grade:

- Cenário 1: etiqueta de RFID posicionada conforme proposto dentro do calçado e o pé, leia-se calçado, apoiado inteiramente no chão;
- Cenário 2: etiqueta de RFID posicionada conforme proposto dentro do calçado e a ponta do pé, leia-se calçado, inclinada 21° com o calcanhar apoiado no chão;
- Cenário 3: etiqueta de RFID exposta, fora do calçado, e mantida a 1cm do chão;
- Cenário 4: etiqueta de RFID exposta, fora do calçado, e mantida no chão;

Os dois primeiros cenários foram experimentados no mesmo momento, com a finalidade de testar a influência do pé do usuário a uma mesma condição de suor. Além disto, como forma de garantir as distâncias entre os pontos de medição da grade, a etiqueta de RFID foi fixada na palmilha do calçado e todas as medições foram feitas com a ponta do calçado centralizada no número e alinhada com o topo do mesmo.

Para cada um dos cenários propostos foi medido o ganho, potência do sinal emitido pela leitora, mínimo necessário para que a antena de RFID fosse capaz de ler a etiqueta. Para tanto, o ganho foi variado 0,25 dBm de 10 dBm a 32,25 dBm. No caso da etiqueta de RFID não ter sido lida nem mesmo com o máximo ganho aplicado, o espaço referente a esse valor mínimo necessário à leitura foi preenchido com um “-“. Os resultados obtidos são vistos na Tabela 4-4.

Tabela 4-4 Resultado da investigação do campo de leitura da antena.

Posição na Grade	Ganho mínimo necessário para que a antena de RFID lesse a etiqueta na respectiva posição em cada um dos cenários propostos [dBm]			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
1	-	32	27	28,25
2	-	30	24	29,25
3	-	-	-	28
4	-	26,75	26,25	25,25
5	-	-	29,25	29,25
6	-	-	-	-
7	-	-	24	26,5
8	-	-	29,75	29,25
9	-	-	22,25	27,5
10	-	-	27,5	31,5
11	-	-	32	31,75
12	-	-	32,25	-
13	-	-	-	-
14	-	-	29	28,25
15	-	-	26,75	32,25

4.4.2 Ajuste da Potência do Sinal Emitido Pela Leitora

O segundo experimento foi feito com a finalidade de otimizar a operação do sistema, guiando no ajuste da potência do sinal a ser emitido pela leitora. Experimentou-se o campo de leitura da antena em cinco dos pontos (1 a 5) da grade apresentada na Figura 4-32. Foram experimentados cinco cenários para cada uma das cinco posições.

Com a etiqueta de RFID posicionada conforme proposto dentro do calçado e metade do comprimento do pé, leia-se calçado, apoiado pelo calcanhar em estrutura de madeira a:

- Cenário 1: a 5 cm do chão;
- Cenário 2: a 10 cm do chão;
- Cenário 3: a 15 cm do chão;
- Cenário 4: a 20 cm do chão;

- Cenário 5: a 25 cm do chão;

Os cenários foram experimentados no mesmo momento, com a finalidade do pé do usuário estar na mesma condição. Além disto, a etiqueta de RFID foi fixada na palmilha do calçado e todas as medições foram feitas com a ponta do calçado centralizada no número e com a metade não apoiado do calçado sobre o mesmo. O ganho, potência do sinal emitido pela leitora, foi variado da mesma forma feita no experimento anterior e foi medido o ganho mínimo necessário para que a antena de RFID fosse capaz de ler a etiqueta, sendo preenchido com um “-“ no caso de não ter sido lido com o máximo ganho aplicado. Os resultados obtidos são vistos na Tabela 4-5.

Tabela 4-5 Resultado do ajuste de potência do sinal emitido pela leitora.

Posição na Grade	Ganho mínimo necessário para que a antena de RFID lesse a etiqueta na respectiva posição em cada um dos cenários propostos [dBm]				
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
1	-	-	-	-	-
2	31,25	30,75	31	30,5	31,75
3	21	28,25	29,25	-	-
4	24,5	25	26,25	28,25	28
5	-	-	-	32	31,25

4.4.3 Operação do Sistema Proposto: Um Usuário

Os experimentos anteriores ajudaram a validar e otimizar o sistema de rastreamento proposto. Entretanto, por lidar com usuários que estão em constante mudança de ambiente, o sistema de rastreamento e a automação predial foram experimentados para o caso crítico: um único usuário. Essa quantidade, um único usuário, é o caso crítico visto que qualquer mudança de ambiente do usuário rastreado obriga a automação a atuar nos ambientes.

O objetivo principal do experimento em questão é, auxiliado pelo segundo experimento, identificar a potência ideal a ser emitida pela leitora para a correta operação do sistema de rastreamento de usuários e, conseqüentemente, da automação predial propostos por este trabalho.

No experimento em questão, um usuário transita por todos os ambientes monitorados: o usuário parte da Sala_2, que deve estar ligada; passa pela Sala_3, ligando-a e desligando a Sala_2; sai dos ambientes monitorados, desligando a Sala_3; retorna à Sala_3, ligando-a; e finalmente chega a Sala_1,

ligando-a e desligando a Sala_3. O caminho percorrido pelo usuário é observado na Figura 4-33.

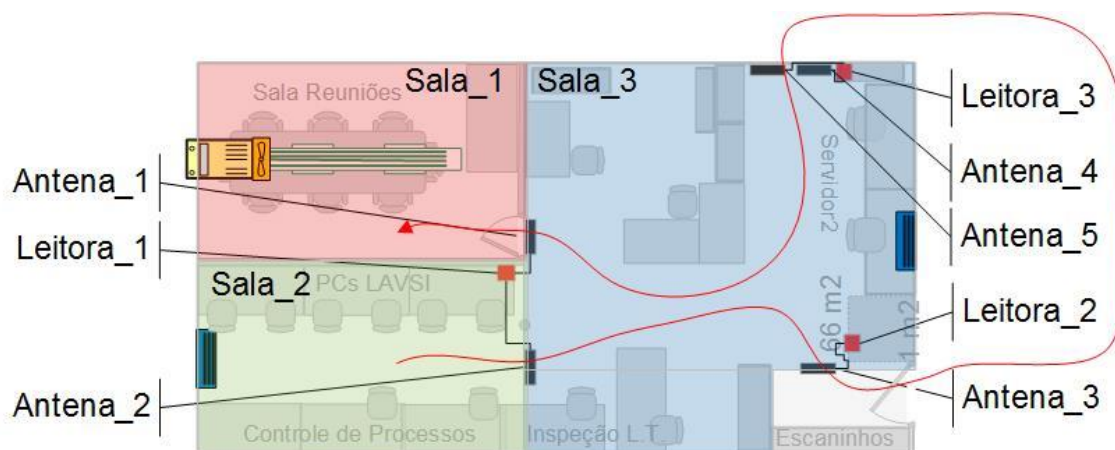


Figura 4-33 Caminho percorrido pelo usuário no terceiro experimento.

Foram experimentados sete cenários nos quais o usuário percorre o caminho determinado com a etiqueta de RFID posicionada, conforme proposto, dentro do calçado e:

- Cenário 1: leitoras ajustadas com ganho de 32 dBm para todas as antenas;
- Cenário 2: leitoras ajustadas com ganho de 31 dBm para todas as antenas;
- Cenário 3: leitoras ajustadas com ganho de 30 dBm para todas as antenas;
- Cenário 4: leitoras ajustadas com ganho de 29 dBm para todas as antenas;
- Cenário 5: leitoras ajustadas com ganho de 28 dBm para todas as antenas;
- Cenário 6: leitoras ajustadas com ganho de 27 dBm para todas as antenas;
- Cenário 7: leitoras ajustadas com ganho de 26 dBm para todas as antenas;

Os cenários foram experimentados no mesmo momento, com a finalidade do pé do usuário estar na mesma condição, e a etiqueta de RFID foi fixada na palmilha para evitar qualquer deslocamento da mesma no interior do calçado. Além disto, o usuário foi estimulado a caminhar de forma rápida e contínua com

o objetivo de evitar qualquer alteração da caminhada no momento da mudança de ambiente, momento o qual o usuário passa sobre a antena.

O experimento foi filmado com data e hora com o auxílio do programa comercial iVideon, como forma de garantir a veracidade dos dados. Além disso, é possível comparar as filmagens com os históricos de alterações dos ambientes gerados pelos programas ScadaBR, GerenteBD e ClienteBD.

Devido boa parte dos registros deste experimento serem feitos na forma de vídeo, o que tomaria muito espaço neste trabalho, serão apresentadas telas dos vídeos e da aplicação middleware, que atualiza o ambiente do usuários, obtidas para um cenário que obteve sucesso em identificar todos os eventos de mudança (Cenário 5) e para um outro cenário que falhou nesta identificação (Cenário 6).

A operação do sistema de rastreamento de usuários pode ser verificada comparando o momento exato, hora e data, das telas dos vídeos com o registro de mudança de ambiente do usuário mantido pela aplicação middleware.

A operação da automação predial pode ser verificada observando o estado do módulo remoto, baseado em Arduino. No caso do usuário estar no ambiente, o módulo do respectivo ambiente deve estar ativado e desativado se o ambiente estiver vazio.

Como a automação predial opera baseada nas informações obtidas pelo sistema de rastreamento de usuários, a correta operação da automação predial ajuda a verificar a correta operação do sistema de rastreamento.

As figuras 4-34, 4-35 e 4-36 apresentam a execução do cenário 5 do terceiro experimento. As figuras 4-37, 4-38 e 4-39 apresentam a execução do cenário 6 do terceiro experimento.



Sala_2 para Sala_3



Sala_3 para FORA

Figura 4-34 Telas dos vídeos obtidas para o cenário 5 do terceiro experimento.

Sala_3 para FORA



FORA para Sala_3



Sala_3 para Sala_1



Figura 4-35 Telas dos vídeos obtidas para o cenário 5 do terceiro experimento.

```

Leitoras e Antenas identificadas no Banco de Dados:

Nome da Leitora: Leitora_1 | Temperatura: 50°C | Configurada e Iniciada: True |
Conectada a Aplicação: True
String de Conexão: speedwayr-10-9f-c8.local
Antena ligada a porta 1 conectada: True
Antena ligada a porta 2 conectada: True
Antena ligada a porta 3 conectada: False
Antena ligada a porta 4 conectada: False

Nome da Leitora: Leitora_2 | Temperatura: 52°C | Configurada e Iniciada: True |
Conectada a Aplicação: True
String de Conexão: speedwayr-10-9f-3f.local
Antena ligada a porta 1 conectada: True
Antena ligada a porta 2 conectada: False
Antena ligada a porta 3 conectada: False
Antena ligada a porta 4 conectada: False

Nome da Leitora: Leitora_3 | Temperatura: 53°C | Configurada e Iniciada: True |
Conectada a Aplicação: True
String de Conexão: speedwayr-10-9f-bb.local
Antena ligada a porta 1 conectada: True
Antena ligada a porta 2 conectada: True
Antena ligada a porta 3 conectada: False
Antena ligada a porta 4 conectada: False

Sistema de rastreamento de Usuarios INICIADO: True
Sistema ModBus Escravo INICIADO: True

Opções:
1. Iniciar Sistema de Rastreamento de Usuarios
2. Interromper Sistema de Rastreamento de Usuarios
0. Encerrar aplicacao.

USUARIO ATUALIZADO
NOW: 28/03/2013 23:21:15 | UltimaATUALIZACAO: 28/03/2013 23:16:24
USUARIO ATUALIZADO
NOW: 28/03/2013 23:21:18 | UltimaATUALIZACAO: 28/03/2013 23:21:18
USUARIO ATUALIZADO
NOW: 28/03/2013 23:21:41 | UltimaATUALIZACAO: 28/03/2013 23:21:21
USUARIO ATUALIZADO
NOW: 28/03/2013 23:21:45 | UltimaATUALIZACAO: 28/03/2013 23:21:44

```

Figura 4-36 Tela da aplicação middleware para o cenário 5 do terceiro experimento.

A indicação “USUARIO ATUALIZADO”, no programa *middleware*, indica que o evento de mudança de ambiente do usuário foi identificado pelo sistema de rastreamento. Posteriormente, a aplicação informa o momento em que ocorreu este evento e quando foi o atualizado no banco de dados o último evento de atualização de ambiente do usuário em questão. É possível, observando atentamente dois eventos seguidos de mudança de ambiente, que o banco de dados aplica um pequeno atraso. Isso fica evidente ao perceber que a “UltimaATUALIZACAO” não corresponde exatamente ao “NOW” do evento de mudança de ambiente imediatamente anterior.



Sala_2 para Sala_3



Sala_3 para FORA



FORA para Sala_3

Figura 4-37 Telas dos vídeos obtidas para o cenário 6 do terceiro experimento.

FORA para Sala_3



Sala_3 para Sala_1



Figura 4-38 Telas dos vídeos obtidas para o cenário 6 do terceiro experimento.


```

Leitoras e Antenas identificadas no Banco de Dados:

Nome da Leitora: Leitora_1 | Temperatura: 48°C | Configurada e Iniciada: True |
Conectada a Aplicação: True
String de Conexão: speedwayr-10-9f-c8.local
Antena ligada a porta 1 conectada: True
Antena ligada a porta 2 conectada: True
Antena ligada a porta 3 conectada: False
Antena ligada a porta 4 conectada: False

Nome da Leitora: Leitora_2 | Temperatura: 50°C | Configurada e Iniciada: True |
Conectada a Aplicação: True
String de Conexão: speedwayr-10-9f-3f.local
Antena ligada a porta 1 conectada: True
Antena ligada a porta 2 conectada: False
Antena ligada a porta 3 conectada: False
Antena ligada a porta 4 conectada: False

Nome da Leitora: Leitora_3 | Temperatura: 51°C | Configurada e Iniciada: True |
Conectada a Aplicação: True
String de Conexão: speedwayr-10-9f-bb.local
Antena ligada a porta 1 conectada: True
Antena ligada a porta 2 conectada: True
Antena ligada a porta 3 conectada: False
Antena ligada a porta 4 conectada: False

Sistema de rastreamento de Usuarios INICIADO: True
Sistema ModBus Escravo INICIADO: True

Opções:
1. Iniciar Sistema de Rastreamento de Usuarios
2. Interromper Sistema de Rastreamento de Usuarios
0. Encerrar aplicacao.

```

```

USUARIO FORA DE ROTA
USUARIO ATUALIZADO
NOW: 28/03/2013 23:25:30 | UltimaATUALIZACAO: 28/03/2013 23:21:48
USUARIO FORA DE ROTA
USUARIO ATUALIZADO
NOW: 28/03/2013 23:25:36 | UltimaATUALIZACAO: 28/03/2013 23:21:48

```

Figura 4-39 Tela da aplicação middleware para o cenário 6 do terceiro experimento.

Tabela 4-6 Resultado da operação do sistema proposto: um usuário.

Evento de mudança de ambiente	Resultado dos eventos de mudança de ambiente, identificado ou não, para cada cenário proposto para o percurso executado pelo usuário						
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7
Sala_2 para Sala_3 (Antena_2)	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓
Sala_3 para Fora (Antena_3)	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Fora para Sala_3 (Antena_4 ou Antena_5)	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
Sala_3 para Sala_1 (Antena_1)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗

A Tabela 4-6 resume os resultados obtidos no experimento proposto. O sinal “✓” indica que o evento de mudança de ambiente do usuário foi identificado pelo sistema de rastreamento e o sinal “X” que o evento de mudança de ambiente não foi percebido pelo sistema.

4.4.4 Operação do Sistema de Automação: Vários Usuários

Após validar a inovação proposta para o rastreamento e auxiliar na configuração para otimizar a operação, o quarto experimento, diferente dos anteriores, foi realizado com o objetivo de observar a operação real do sistema de rastreamento de usuários e da automação predial propostos por este trabalho.

A operação do sistema de automação realizada anteriormente, com um único usuário, ajudou a determinar as melhores configurações para a operação do mesmo. Desta forma, neste experimento, testou-se a operação do sistema para as duas melhores configurações obtidas no experimento anterior: ganhos de 28 dBm e 32 dBm.

Foram experimentados dois cenários nos quais três usuários transitam livremente nos ambientes monitorados com, cada um, uma etiqueta de RFID posicionada, conforme proposto, dentro do calçado e:

- Cenário 1: leitoras ajustadas com ganho de 32 dBm para todas as antenas;
- Cenário 2: leitoras ajustadas com ganho de 28 dBm para todas as antenas;

Os cenários foram experimentados no mesmo momento, com a finalidade dos pés dos usuários estarem na mesma condição, e a etiqueta de RFID foi fixada na palmilha para evitar qualquer deslocamento da mesma no interior do calçado. Além disto, os usuários foram estimulados a caminhar normalmente com o objetivo de evitar qualquer alteração no momento da mudança de ambiente, momento o qual o usuário passa sobre a antena.

O experimento foi filmado com data e hora com o auxílio do programa comercial WebCam Monitor, como forma de garantir a veracidade dos dados. Além disso, é possível comparar as filmagens com a tela gráfica do ScadaBR e históricos de alterações dos ambientes gerados pelos programas ScadaBR, GerenteBD e ClienteBD.

Devido boa parte dos registros deste experimento serem feitos na forma de vídeo, o que tomaria muito espaço neste trabalho, serão apresentadas telas dos vídeos e da interface gráfica do supervisor ScadaBR obtidas para os dois cenários experimentados.

As Figuras 4-40 e 4-41 apresentam trechos do cenário 1 do quarto experimento.



Figura 4-40 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 1, experimento 4, exemplo 1.



Figura 4-41 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 1, experimento 4, exemplo 2.

Como pode ser observado nas figuras acima, Figura 4-40 e Figura 4-41, o sistema de rastreamento para o cenário 1 falhou em não identificar a passagem de um usuário da Sala_3 para a Sala_2. A falha deste sistema acabou comprometendo o funcionamento da automação, que manteve ligado a Sala_3 e não ligou a Sala_2.

As Figuras 4-42 e 4-43 apresentam trechos do cenário 2 do quarto experimento.

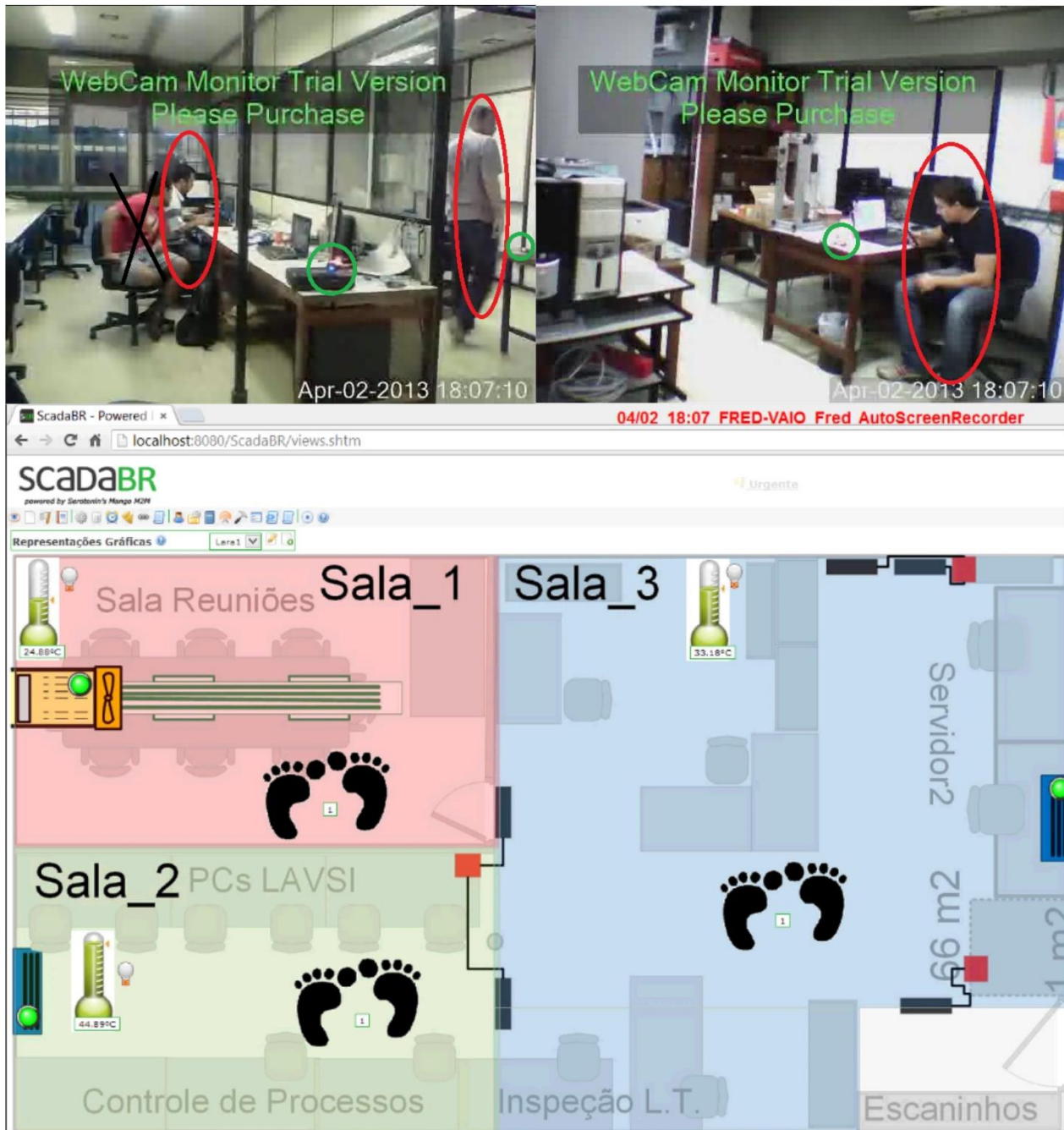


Figura 4-42 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 2 experimento 4, exemplo 1.



Figura 4-43 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 2, experimento 4, exemplo 2.

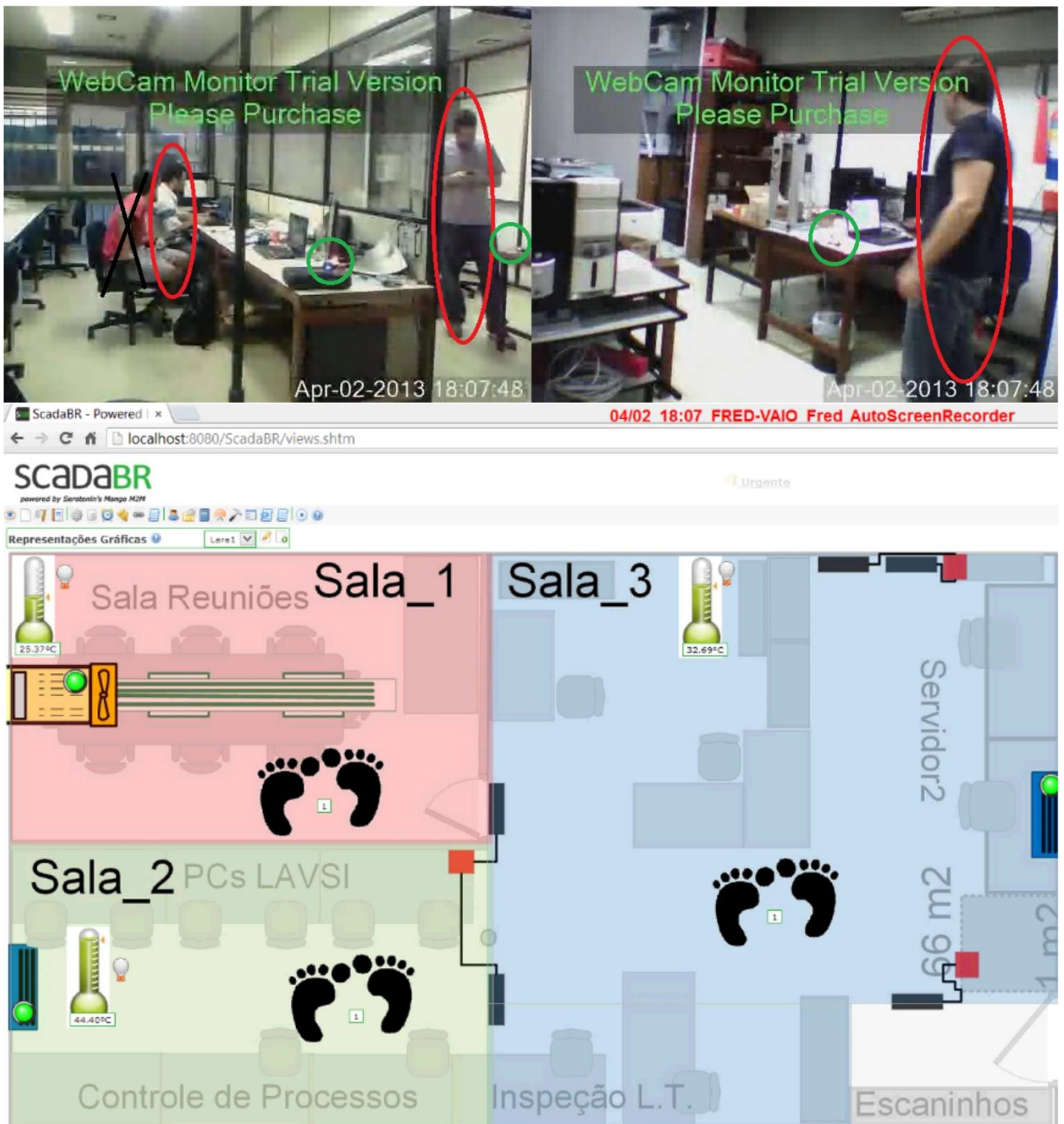


Figura 4-44 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 2, experimento 4, exemplo 3.



Figura 4-45 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 2 experimento 4, exemplo 4.



Figura 4-46 Telas dos vídeos e interface gráfica do ScadaBR para o cenário 2, experimento 4, exemplo 5.

Como pode ser observado nas Figuras 4-42 a 4-46, o sistema de rastreamento para o cenário 2 obteve sucesso em identificar todos os eventos de mudança. Conseqüentemente, a automação operou nos ambientes de forma correta.

4.5 Análise dos Resultados

O primeiro experimento realizado, apresentado no subitem 4.4.1, testa o conceito da inovação proposta por este trabalho: rastreamento de usuários por meio da tecnologia de RFID passiva através do uso de uma etiqueta no calçado. No experimento em questão, testou-se a eficácia do pé do usuário como barreira para as ondas eletromagnéticas, o que evitaria falsos eventos de mudança de ambiente quando o usuário ficasse parado próximo às antenas de RFID.

A Tabela 4-4 apresenta os resultados obtidos neste primeiro experimento. Os resultados obtidos no Cenário 1 mostram que mesmo que o usuário esteja parado próximo a uma antena, se ele mantiver o calçado completamente no chão, a sua etiqueta identificadora não será lida e o sistema não irá gerar um falso evento de mudança de ambiente, mesmo com a leitora de RFID operando em sua maior potência. Os resultados obtidos para o Cenário 2, experimento realizado como forma de compreender possíveis leituras no momento em que o usuário fosse iniciar uma nova passada, mostram que o mesmo só seria lido quando estivesse muito próximo à antena de RFID, nas posições 1, 2 e 4 da grade de testes. Os três pontos em que o usuário foi lido no Cenário 2, por serem muito próximos à antena, indicam fortemente a mudança de ambiente do usuário e por conta disso podem não ser interpretados como falha do conceito. Os Cenários 3 e 4, experimentos em que a etiqueta se encontrava fora do calçado, foram realizados com a finalidade de confirmar a influência da posição proposta para a etiqueta, por este trabalho, para a correta operação do sistema de rastreamento. Como pode ser observado nas colunas dos Cenários 3 e 4 da Tabela 4-4, a etiqueta fora do calçado foi lida em quase todas as posições da grade de teste. Confirma-se, então, a hipótese, anteriormente prevista pela teoria e experimentada pelo Cenário 1, de que o pé do usuário seria barreira suficiente para as ondas eletromagnéticas do sistema de rastreamento baseado na tecnologia de RFID passiva e que, por isto, esta tecnologia poderia ser aplicada ao rastreamento de usuários aplicando a técnica de rastreamento por proximidade.

O segundo experimento realizado, apresentado no subitem 4.4.2, auxilia no processo configuração e otimização do sistema proposto. Como dito anteriormente, os pontos investigados neste experimento foram os de número 1

a 5 da grande de teste. Além disto, a posição do calçado, quando comparada com a posição do mesmo no primeiro experimento, estava levemente avançado de tal modo que a parte não apoiada estava sobre a antena. Mesmo se tratando de uma análise estática do momento em que o usuário passa o pé sobre a antena, o experimento realizado ajudou a identificar a faixa de potência do sinal, emitido pela leitora para a antena, a ser melhor experimentada posteriormente. A Tabela 4-5 contém os resultados deste experimento considerando a hipótese de que uma pessoa levantaria o pé a até uma altura de 20 cm. A faixa de potência indicada varia de 27 dBm a 32 dBm.

O terceiro experimento realizado, apresentado no subitem 4.4.3, assim como o segundo, teve como principal objetivo auxiliar no processo de configuração e otimização do sistema proposto. Ao experimentar cenários dinâmicos, o terceiro experimento se aproxima ainda mais da realidade. Além de auxiliar no processo de ajuste da potência do sinal a ser emitido pela leitora, este experimento ainda testa a automação predial proposta por este trabalho como um todo. O experimento foi realizado com um único usuário para facilitar o ajuste do ganho do sinal da leitora e, como dito anteriormente, por ser o caso crítico para a operação da automação predial visto que qualquer mudança de ambiente do usuário obriga a automação a atuar sobre os ambientes.

A Tabela 4-6 apresenta os resultados obtidos neste terceiro experimento. Como pode ser observado, as únicas configurações que não apresentaram falha na identificação dos eventos de mudanças foram os Cenários 1 e 5 nos quais a leitora aplicou, respectivamente, sinais de potência de 32 dBm e 28 dBm nas antenas.

O quarto experimento realizado, apresentado no subitem 4.4.4, teve como principal objetivo observar a operação real do sistema de rastreamento de usuários e da automação predial propostos por este trabalho. Os experimentos anteriores, como já foi comentado, serviram de referência para a configuração do sistema neste último. Desta forma, no quarto, e último experimento, foram realizados apenas dois cenários. O cenário 1, em que a leitora aplicou um sinal de potência de 32 dBm nas antenas, e o cenário 2, em que a leitora aplicou um sinal de potência de 28 dBm nas antenas.

O cenário 1, como pode ser observado na Figura 4-40 e Figura 4-41, apresentou falha no sistema de rastreamento de usuários ao não identificar a

mudança de ambiente de um usuário da Sala_3 para a Sala_2. A falha deste sistema acabou comprometendo o funcionamento da automação, que manteve ligado a Sala_3 e não ligou a Sala_2. Já o cenário 2, como pode observado na Figura 4-42 a Figura 4-46, o sistema de rastreamento obteve sucesso em identificar todo os eventos de mudança de ambiente. Conseqüentemente, a automação operou nos ambientes de forma correta.

Tomando uma quantidade maior de eventos de mudança de ambientes obtidas durante este experimento, obteve-se um índice de acerto de 84% para o cenário 2, num total de 25 eventos de mudança de ambiente observados, e 76,5% para o cenário 1, num total de 17 eventos de mudança de ambiente observados.

5 Conclusão

No presente trabalho, como proposto, desenvolvemos um sistema de rastreamento de usuários, a partir da tecnologia de RFID passiva, satisfatório para ser usado pela automação predial, também desenvolvida neste trabalho, como fonte de informação da distribuição dos usuários nos ambientes monitorados para, só então, atuar neles.

A proposta de rastrear usuários a partir do uso de etiquetas de RFID passiva nos calçados foi validada pelo primeiro experimento realizado (subitem 4.4.1). O segundo e o terceiro experimentos (subitens 4.4.2 e 4.4.3) permitiram identificar duas boas configurações para o sistema que, posteriormente, foram experimentadas em operação plena do sistema de rastreamento de usuários e na automação predial no quarto experimento (subitem 4.4.4). Desta forma, é possível afirmar que o sistema de rastreamento de usuários e a automação predial propostos operaram de forma satisfatória.

Identificou-se ainda durante os experimentos realizados que, para a aplicação proposta por este trabalho, a etiqueta de RFID passiva é o componente mais crítico de todo o sistema. Apesar de não ter sido experimentado, percebeu-se que a operação deste componente é afetada pelo suor inerente ao pé e, ainda, por seu estado de integridade física.

Vale lembrar que, mesmo construindo os módulos para a automação predial, não se atuou realmente nos ambientes, ligando e desligando luzes e ar condicionado. No tocante a operação no ar condicionado, o acionamento via infravermelho foi desconsiderado após ser verificado que atrasos inerentes na codificação para o Arduino, para esta tecnologia de comunicação sem fio, impedem o sincronismo com o supervisor ScadaBR via Modbus. Em relação ao acionamento das luzes, devido aos circuitos das mesmas não respeitarem a divisão das salas usada no trabalho, preferiu-se apenas representá-las com um LED presente nos módulos construídos. Além disso, percebe-se nos resultados dos experimentos que os LEDs azuis referentes às luzes não foram acionados. Tal fato ocorre devido ao controle para a iluminação implementado na automação, que liga as luzes apenas no caso de baixa luminosidade, indicar sempre luminosidade suficiente. Como as luzes dos ambientes não poderiam ser totalmente apagadas, o que prejudicaria consideravelmente as filmagens, e por

essa falha não condenar a operação do sistema proposto, não foram feitos experimentos em baixa luminosidade.

Boa parte do sucesso alcançado é resultado do grande investimento de tempo no desenvolvimento dos programas usados. Por não ser o foco deste trabalho, limitou-se a apresentar apenas as funcionalidades destas aplicações. Aplicações estas que foram desenvolvidas da forma mais flexível possível com o intuito de estimular, e facilitar, trabalhos futuros com a tecnologia de RFID e com os equipamentos adquiridos.

Como pode ser percebido ao longo deste documento, o trabalho desenvolvido possui um forte apelo prático e como, observado nos experimentos, o objetivo inicial foi alcançado. Entretanto, para uma melhor compreensão desta tecnologia de identificação por radiofrequência, reconhece-se a necessidade de mais conhecimentos sobre diagramas de irradiação de antenas para a análise mais aprofundada dos resultados obtidos.

5.1 Perspectivas

Sendo este o primeiro trabalho desenvolvido no LARA a lidar com a tecnologia de RFID passiva, foi necessário investir um tempo razoável, inicialmente, no entendimento dessa tecnologia para, só então, adquirir e operar os equipamentos usados. O amadurecimento do conhecimento alcançado a respeito desta tecnologia, após a conclusão deste trabalho, deixou alguns pontos interessantes a serem abordados em trabalhos futuros:

- Estudo mais apurado a respeito da etiqueta de RFID passiva, a qual foi o componente crítico do sistema proposto. Experimentar sensibilidades e materiais de encapsulamento mais adequados para o caso da etiqueta ser posicionada no interior do calçado. Aliado a isto, quantificar a influência do suor na operação da etiqueta.
- Desenvolvimento de um algoritmo para tratar eventuais falhas do sistema de rastreamento de usuários ao não identificar um evento de mudança de ambiente.

Bibliografia

- [1] J.-P. CURTY, Design and Optimization of Passive UHF RFID, Springer, 2007.
- [2] D. DOBKIN, The RF in RFID Passive UHF RFID in Practice. Newnes, 2007.
- [3] B. e. B. H. GLOVER, RFID Essentials, O'Reilly, 2006.
- [4] P. SANGHERA, How to Cheat at Deploying and Securing RFID, Syngress, 2007.
- [5] IMPINJ, "IMPINJ UHF RFID READER ANTENNAS," [Acessado em 22/08/2012] . http://www.impinj.com/RFID_Reader_Antennas.aspx.
- [6] P. SANGHERA, RFID+ Exam RF0-001 Study Guide and Practice Exam, Syngress, 2007.
- [7] "Congresso RFID," [Acessado em 29/09/2012].
<http://www.congressorfid.com.br/rfid/>.
- [8] GS1 - Global Standards One, "EPC – Código Eletrônico de Produto," [Acessado em 20/09/2012] . <http://gs1brasil.wordpress.com/epcrfid/>.
- [9] GS1 - Global Standards One, "Class 1 Generation 2 UHF Air Interface Protocol Standard "Gen 2","[Acessado em 20/09/2012] .
<http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/uhfc1g2..>
- [10] Agencia Nacional de Telecomunicações, "Resolução nº 506, de 1º de julho de 2008," 21/11/2012. . <http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/23-2008/104-resolucao-506>.
- [11] Tunity Tech, [Acessado em 17/02/2013].
http://www.tunitytech.com/Products/product.php?id_product=61.
- [12] liquidware, "Arduino Uno," [Acessado em 12/02/2013].
http://www.liquidware.com/system/0000/3648/Arduino_Uno_Angle.jpg.
- [13] Robotronic, "XBee 1mW wire antenna," [Acessado em 12/02/2013] .
http://www.robotronic.co.nz/index.php?main_page=popup_image&pID=48.
- [14] Electrozone, "Arduino XBee Shield," [Acessado em 12/02/2013].
<http://www.electrozone.dk/catalog/product/gallery/id/240/image/659/>.

- [15] TI - Texas Instruments, "LM35 Datasheet," [Acessado em 12/02/2013].
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>.
- [16] Tony Eletronica, "LDR," [Acessado em 12/02/2013].
<http://www.te1.com.br/2011/03/circuito-sensor-luz-ldr/>.
- [17] Microsoft, "Visual Studio," [Acessado em 07/02/2013].
<http://msdn.microsoft.com/library/vstudio/z1zx9t92..>
- [18] Wikipedia, "Microsoft SQL Server," [Acessado em 08/02/2013].
http://pt.wikipedia.org/wiki/Microsoft_SQL_Server..
- [19] Microsoft, "Microsoft® SQL Server® 2012 Express," [Acessado em 08/02/2013] .
<http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?FamilyID=C3A54822-F858-494A-9D74-B811E29179E7&displaylang=pt-br&displaylang=en#QuickInfoContainer..>
- [20] Wikipedia, "Microsoft Visual Studio," [Acessado em 02/03/2013].
http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio.
- [21] Modbus Organization, "Modbus Protocol," [Acessado em 03/03/2013] .
<http://modbus.org/>.
- [22] "X-CTU," [Acessado em 25/02/2013].
<http://www.digi.com/support/productdetail?pid=3352>.
- [23] "ScadaBR," . <http://www.scadabr.com.br> [Acessado em 20/01/2013].
- [24] Y. Indria, "Design of an Individual Mobile Measurement of Thermal Comfort," Universitat Kaiserslautern, 2006.
- [25] L. C. Mattos, "Ultra Wideband," UFRJ, [Acessado em 20/01/2013].
http://www.gta.ufrj.br/grad/04_2/uwb/Posicionamento.html.
- [26] L. O. FONSECA, Sistema de Identificação de Usuários Utilizando RFID para a Racionalização de Energia em Ambientes Inteligentes, Brasília, 2010.
- [27] University of Cambridge, "Computer Laboratory - Badge.jpg," [Acessado em 20/01/2013].
<http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attarchive/videos/jpg/badge.jpg>.

- [28] V. D. HUNT, RFID - A Guide to Radio Frequency Identification, Wiley, 2007.
- [29] P. b. Impin, Getting up to Speed – RFID - Brochure_20110329, 2012.
- [30] K. FINKENZELLER, RFID Handbook - Fundamentals And Applications In Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification And Near-Field, Wiley, 2010.
- [31] Simply Modbus, "Data Communication," [Acessado em 03/03/2013].
<http://www.simplymodbus.ca>.

Anexo A Tecnologias de Rastreamento

Banda Ultra Larga (UWB)

A tecnologia de Banda Ultra Larga (UWB) é comumente usada para o rastreamento, em tempo real, em ambientes internos e externos (Figura Anexo A- 1). Segundo resultados divulgados pela empresa Multispectral Solutions, líder em desenvolvimento de sistemas de comunicação em banda ultra larga, a acurácia é superior a 30 cm e alcance de 100 m em ambientes fechados e superior a 10 cm e alcance de 2 km em ambientes abertos. Por trabalhar em altas frequências, entorno de 1 GHz, essa tecnologia é resistente ao congestionamento de informação.

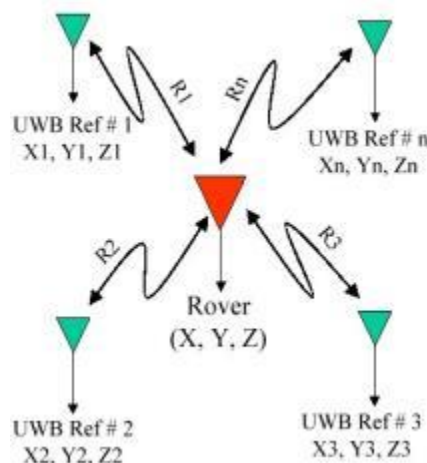


Figura Anexo A 1 Sistema de Rastreamento a partir da tecnologias de UWB, [25].

O rastreamento, a partir dessa tecnologia, é feito normalmente por um conjunto de receptores UWB em posições conhecidas e etiquetas emissoras de referência, também, em posições conhecidas. As posições das etiquetas em movimento são identificadas a partir da combinação das informações dos atrasos dos sinais dessas etiquetas a serem rastreadas e das etiquetas de referência. Para o rastreamento 2D é necessário utilizar três ou mais receptores e para o caso 3D é necessário utilizar quatro ou mais receptores, [25].

Wi-Fi

A tecnologia Wi-Fi, tipicamente usada em redes de comunicação no padrão 802.11, quando aplicada ao rastreamento faz normalmente o uso do Indicador de Potência do Sinal Recebido (RSSI) para identificar a posição da

etiqueta. O conjunto para o rastreamento é composto por pontos de acesso Wi-Fi em posições conhecidas. A partir das medições dos RSSI's de todos os pontos de acesso em relação às etiquetas Wi-Fi (dispositivos munidos dessa tecnologia) em movimento é possível identificar a posição de cada uma. Sabendo que as posições dos pontos de acesso Wi-Fi são conhecidas e que a medida do RSSI permite estimar a distância entre ponto de acesso e a etiqueta, pode-se identificar a posição da etiqueta a partir da triangulação obtida pelas distâncias estimadas a partir dos RSSI's medidos nos diferentes pontos de acesso.

A calibração, na aplicação dessa tecnologia para o rastreamento, talvez seja a parte mais complicada. Como forma de facilitar essa etapa, pode-se usar redes neurais artificiais. O treinamento da rede é feito em vários pontos do ambiente coletando as medições dos RSSI's de todos os pontos de acesso Wi-Fi, em relação a cada ponto do ambiente. Por usar do valor da potência recebida para identificar a posição da etiqueta e por esse valor ser afetado pelos obstáculos do ambiente, caso haja grande alteração no espaço onde essas ondas de rádios trafegam uma nova calibração deve ser feita.

A popularidade dessa tecnologia, visto que os pontos de acesso Wi-Fi usados para o compartilhamento de arquivos e internets podem ser aproveitados para o rastreamento, é a melhor justificativa para a sua utilização, [26].

ZigBee

A tecnologia ZigBee, desenvolvida e homologada em 2003 por uma associação de 45 empresas, tem como características o baixo consumo de energia elétrica, baixo custo, flexibilidade e simplicidade no uso. O rastreamento normalmente é feito semelhante ao feito pelo Wi-Fi, a partir da triangulação das distâncias estimadas pelo RSSI's medido em cada receptor ZigBee em relação a uma etiqueta.

A etiqueta a ser rastreada, na tecnologia em questão, é na verdade um módulo ZigBee tradicional. Esse módulo, hoje, é pouco maior que uma caixa de fósforos, mas mesmo assim continua sendo grande e pesado para ser transportado por um usuário de forma despercebida. Por não ser uma tecnologia normalmente embarcada em equipamento do dia a dia de um usuário, tal como

o Wi-Fi presente nos *smartphones*, a escolha por essa tecnologia deixa de ser interessante para o rastreamento de pessoas, [26].

RFID

A tecnologia de Identificação por Radiofrequência Ativa, quando aplicada ao rastreamento, normalmente faz uso, assim como o Wi-Fi e o ZigBee, do Indicador de Potência do Sinal Recebido (RSSI) medido em cada leitora RFID em relação a cada uma das etiquetas dentro do alcance de leitura das leitoras. Assim como as duas tecnologias anteriores, a posição da etiqueta é determinada a partir da triangulação das distâncias estimadas pelo RSSI's medido em cada uma das leitoras, [26].

A tecnologia de identificação por radiofrequência passiva, tecnologia usada neste trabalho, por ter um alcance de leitura inferior à mesma tecnologia ativa, apresenta sérias limitações para o uso do RSSI para a mesma finalidade. Por conta disso, para o rastreamento, foi aplicada uma nova estratégia.

A tecnologia em questão, RFID, assim como o ZigBee não está normalmente embarcada em equipamentos do dia a dia de um usuário. As etiquetas RFID, no entanto, são menores, mais leves e fáceis de carregar se comparadas às etiquetas da tecnologia ZigBee. Etiquetas RFID Ativas (possuindo bateria), podem ser encapsuladas na forma de crachás e usadas para a mesma finalidade, identificação. Etiquetas RFID Passiva, por não terem bateria, são tão finas quanto uma folha de papel e sua área está associada a sua respectiva sensibilidade.

Active Badge

A tecnologia de rastreamento por *Active Badges* (“Etiquetas Ativas”), desenvolvida no *Olivetti Research Laboratory* em Cambridge, baseia-se na operação por infravermelho (Figura Anexo A- 2). O rastreamento, a partir dessa tecnologia, é feito normalmente por um conjunto de receptores infravermelhos em posições conhecidas, [27].



Figura Anexo A 2 Etiqueta (crachá eletrônico) de um sistema de rastreamento baseado na tecnologia *Active Badge*, [27].

As posições das etiquetas em movimento, crachás eletrônicos que enviam informações de identificação periodicamente, são identificadas a partir da combinação das informações recebidas pela rede de receptores. O alcance dessa tecnologia é reduzido, cerca de 5 metros, e, por ser intolerante a obstruções, é limitado pela posição dos receptores.

Indoor GPS

A tecnologia *Indoor GPS* tem esse nome, pois, assim como o GPS tradicional, o rastreamento é feito por um conjunto de transmissores, operando via infravermelho e laser, que enviam mensagens para os receptores móveis. Estes receptores móveis, recebendo essas informações de pelo menos dois transmissores, são capazes de calcular a respectiva localização no ambiente com grande precisão, com um erro de apenas 1 cm.

O uso dessa tecnologia de grande precisão possui um grande impedimento: grande custo inicial. Esse maior valor deve-se ao fato dos equipamentos serem caros, transmissores e receptores, e, por não serem tolerante a obstruções, é necessário à instalação de um transmissor por ambiente e um receptor, de alto custo, por usuário a ser rastreado, [26].

Anexo B Surgimento e Evolução da Tecnologia de RFID

Surgimento da Tecnologia

Na década de 30 os precários biplanos de tecido e madeira que povoavam os céus dos campos de batalha da Primeira Guerra Mundial deram lugar aos monoplanos, completamente feitos de metal, capazes de carregar milhares de quilos de explosivos e viajar a centenas de quilômetros por hora. Para um observador, aliado ou alvo em potencial, o tempo que se tinha para se tomar qualquer atitude a partir do momento em que se identificava um vôo a caminho era insuficiente. A detecção de aviões além do alcance visual foi tarefa para o radar de microondas, também em rápido desenvolvimento na década de 30. Mas a mera detecção da presença de aeronaves gerou um novo problema: como identificar de que lado elas estavam? Foi exatamente essa incapacidade de identificar aeronaves que permitiu a aproximação da frota da Marinha Imperial Japonesa, sendo confundida com bombardeiros dos Estados Unidos, e assim garantiu a surpresa no ataque a Pearl Harbor em 1941. O problema da identificação de aeronaves potencialmente hostis desafiou todos os combatentes durante a Segunda Guerra Mundial, [2].

A Luftwaffe, a Força Aérea Alemã, resolveu inicialmente este problema usando uma engenhosa manobra. Os britânicos, durante combates contra pilotos alemães no início da guerra, notaram que os esquadrões inimigos executavam, de repente e simultaneamente, um rolamento no ar sem motivo aparente. Este comportamento curioso foi posteriormente correlacionado com a interceptação de sinais de rádio a partir do solo. Tornou-se evidente que os pilotos da Luftwaffe, quando recebiam indicação de que estavam sendo visualizados por seu radar, rolavam a fim de mudar o sinal refletido de seus aviões. A consequente modulação dos blips¹ na tela do radar permitia que os operadores de radar alemães identificassem estes como alvos amigos. Este é um dos primeiros, se não o primeiro, exemplo conhecido de utilização da reflexão passiva de sinais de rádio para identificação. O caráter passivo da reflexão refere-se à falta de um transmissor de rádio no objeto a ser identificado, o sinal

¹ Blip: um ponto de luz em uma tela de radar ou sonar que indica a posição de um objeto detectado.

usado para se comunicar era um sinal de rádio transmitido pela estação de radar e refletido de volta para ela pelo objeto a ser identificado, [2].

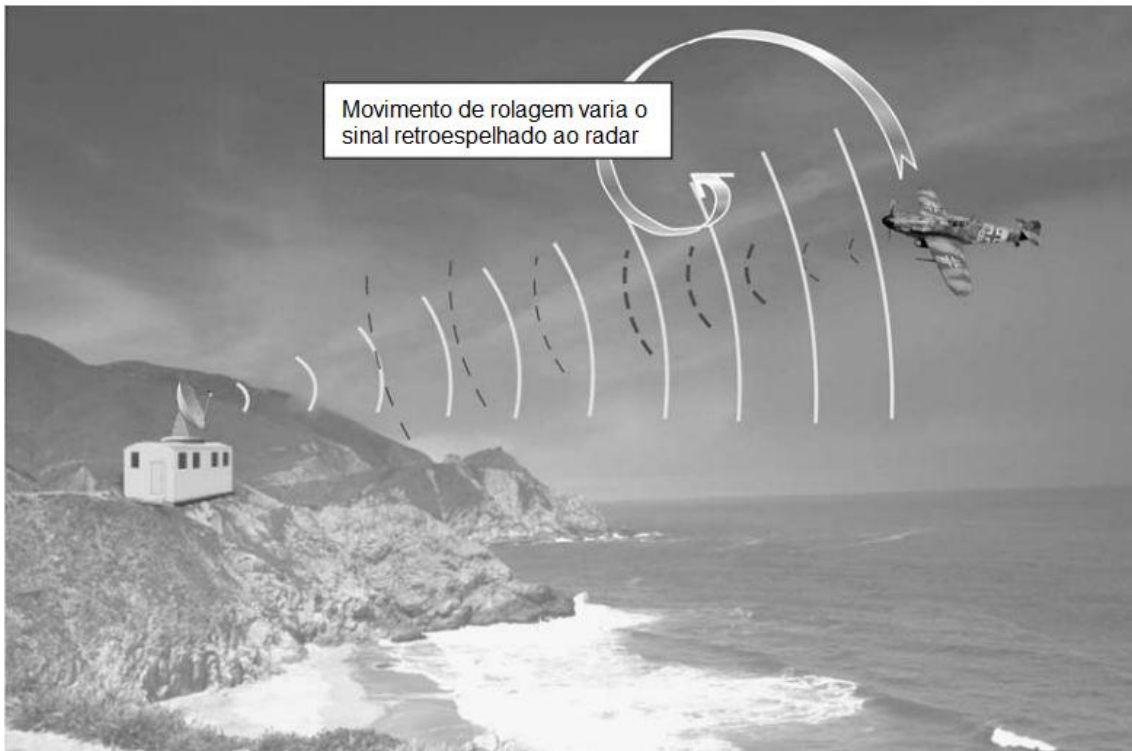


Figura Anexo B 1 Uso da radiação retroespelhada para comunicar com o operador do radar, [2].

O rolar de um avião, como forma de diferenciar um amigo de um inimigo, era de uso limitado visto que qualquer aeronave poderia executar a manobra e nenhum dado de identificação era fornecido (Figura Anexo B- 1). Isto é, o sistema tinha sérios problemas com a segurança e o tamanho do espaço de identificação (ID) possuía um único bit. O final da década de 30 foi marcado por ativa investigação de meios mais capazes de realizar a identificação dos alvos visualizados no radar. Entre os anos 1937 e 1938 os Estados Unidos e a Grã-Bretanha testaram sistemas simples (XAE e *Mark I*, respectivamente) de Identificação Amigo ou Inimigo, *Identify Friend or Foe* (IFF), usando um sinal ativo em seus aviões. O sistema *Mark III*, amplamente usado pela Grã-Bretanha, Estados Unidos e União Soviética durante a guerra, era composto por um receptor e por um transmissor sintonizáveis mecanicamente com seis possíveis códigos de identificação. Em meados dos anos 1950, surgiu o radar por transponder que ainda hoje é usado na aviação em geral, [2].

Transponders modernos são interrogados por um par de pulsos a 1030 MHz, em banda de ultra-alta frequência (UHF). O transponder responde a 1090

MHz com 12 pulsos contendo 1 bit de informação cada pulso, proporcionando um espaço de identificação (ID) de 4096 códigos possíveis.

Por muitos anos, a aplicação mais ampla dessas ideias além do sistema IFF de aeronaves foi limitada pelo custo e tamanho do equipamento necessário. Os primeiros transponders militares mal cabiam nas cabines de aviões de caça, e até mesmo transponders modernos de uso geral na aviação, custam U\$ 1000-5000. A fim de usar os sinais de rádio para identificar objetos menores e mais baratos do que os aviões, foi necessário diminuir o tamanho, complexidade e custo do mecanismo de fornecimento da identificação, [2].

Evolução da Tecnologia

Na última metade do século XIX ocorreram muitos avanços na compreensão da energia eletromagnética. Na virada do século, as obras de Faraday, Maxwell, Hertz, e outros haviam produzido um conjunto completo de leis que já descreviam a sua natureza. A partir de 1896, Marconi, Alexanderson, Baird, Watson, e muitos outros procuraram aplicar essas leis em comunicações de rádio e de radar. Os trabalhos realizados nessa época foram responsáveis por formar a base de muitas tecnologias, incluindo o RFID, a serem desenvolvidas no futuro.

A Segunda Guerra Mundial, como apresentado a pouco, trouxe muitos avanços nas comunicações por radiofrequência e de radar no final da década de 30. Depois da guerra, os cientistas e engenheiros continuaram suas pesquisas nessas áreas procurando usos civis para elas. Em outubro de 1948, Harry Stockman publicou o artigo “*Communications by Means of Reflected Power*”, documento que é encarado como certidão de nascimento da tecnologia de RFID.

Durante o final da década de 30 até o início da década de 50, muitas das tecnologias relacionadas ao RFID foram exploradas pelos pesquisadores. Dois importantes documentos foram publicados: “*Applications of the Microwave Homodyne*” por F.L. Vernon e “*Radio Transmission Systems with Modulatable Passive Responders*” por D.B. Harris. O Exército dos EUA, nesse período, começou a desenvolver uma forma primitiva da tecnologia de RFID em aeronaves, IFF, com o intuito de identificar se o alvo era amigo ou inimigo.

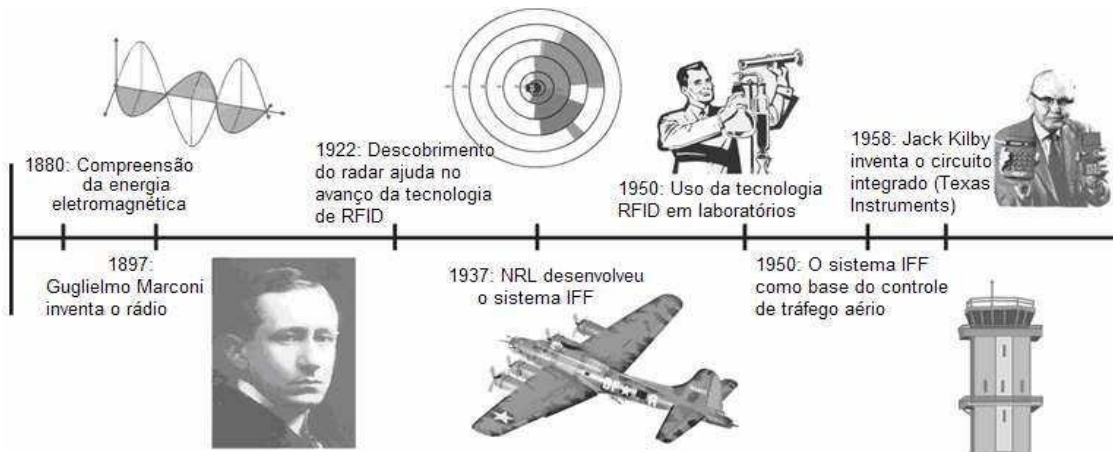


Figura Anexo B 2 Evolução dos Sistemas de RFID (1880-1960), [7].

O uso comercial teve início na década de 60. As empresas Sensormatic e Checkpoint desenvolveram equipamentos eletrônicos de segurança patrimonial (EAS - *Electronic Article Surveillance*) tendo como uma das finalidades evitar furtos. Os sistemas eram simples, com apenas 1-bit, era somente possível detectar a presença de etiquetas de RFID em vez de identificá-las. Posteriormente, os equipamentos eletrônicos de segurança patrimonial se tornaram a primeira aplicação comercial em larga escala do RFID.

A década de 70 foi marcada por notáveis avanços na tecnologia de RFID. Empresas, instituições acadêmicas e laboratórios do governo tornaram-se cada vez mais envolvidos em pesquisas sobre essa tecnologia de identificação por rádio. Em 1975, o laboratório *Los Alamos* (LASL) apresentou ao público um importante estudo sobre RFID, intitulado "*Short-Range Radio-telemetry for Electronic Identification Using Modulated Backscatter*," escrito por Alfred Koelle, Steven Depp, e Robert Freyman. Grandes empresas como Raytheon, RCA e Fairchild começaram também a desenvolver a tecnologia de sistemas de identificação eletrônica. Em 1978 o transponder passivo, operando na faixa das de microondas, foi desenvolvido. Vários órgãos governamentais começaram a mostrar interesse na tecnologia. Autoridades dos portos de Nova York e Nova Jersey testaram sistemas implementados pela General Electric, Westinghouse, Philips e Glenayre, embora a tecnologia não tenha sido adotada. A Administração Federal de Rodovias dos Estados Unidos (USFHA - *U.S. Federal Highway Administration*) desenvolveu ações com o intuito de explorar o uso dessa tecnologia na identificação de veículos, entre outras aplicações em transporte. Inúmeras pequenas empresas focadas na tecnologia de RFID

começaram a surgir no final de 1970. Até o final da década, grande parte das pesquisas em princípios eletrônicos e eletromagnéticos de ondas de radiofrequência foi concluída e pesquisas em tecnologia da informação, fundamental para o desenvolvimento de clientes de RFID e de redes, haviam começado.

A década de 80 foi marcada por várias, e diversificadas, implantações da tecnologia de RFID pelo mundo. Na Europa, os principais usos foram para o controle de animais e o controle de passagem, pedágio, nas estradas da Espanha, França, Itália, Portugal e Noruega. Já nos Estados Unidos, os principais usos foram para o controle de animais, controle acesso e nos transportes. A Associação de Ferrovias Americanas (AAR - *Association of American Railroads*) e o Programa de Cooperativas de Manipulação de Containers (CHCP - *Container Handling Cooperative Program*), com o objetivo de identificar vagões de trem por radiofrequência, acabaram exercendo um papel fundamental para o desenvolvimento dessa tecnologia. Todos esses sistemas de RFID instalados na década de 80 eram sistemas proprietários, resultando em incompatibilidade entre os sistemas e altos preços devido à falta de concorrência, [28].

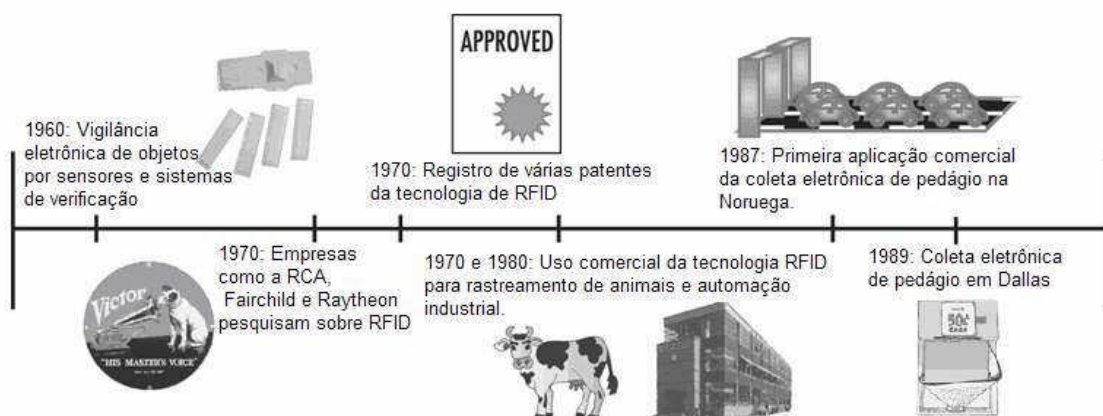


Figura Anexo B 3 Evolução dos Sistemas de RFID (1960-1990), [7].

O RFID, no final da década de 90, tornou-se indispensável para aplicações no mundo dos negócios e da tecnologia. O sistema de identificação por radiofrequência se fez cada vez mais presentes em rodovias de alta velocidade, possibilitando que motoristas pudessem passar pelos pedágios sem terem de parar. A empresa Texas Instruments, ainda nessa década,

desenvolveu o sistema TRIS. Sistema esse que propiciou novas aplicações para o RFID tais como o pagamento de combustível, como o Exxon Mobil's *Speedpass*, e sistemas de acesso de veículos. Avanços na tecnologia de materiais durante a década de 90, muitos deles relacionados com pesquisas de fabricantes de semicondutores como IBM, Intel, AMD e Motorola, reduziram os custos de fabricação das etiquetas de RFID, aumentando a relação custo-benefício das mesmas. Essa redução de custo acabou por viabilizar a implantação em um número muito maior de projetos, visto que o bem a ser identificado não necessitaria ter um valor agregado tão alto. Ainda assim havia um impedimento para um crescimento e padronização da tecnologia: a maioria dos sistemas de RFID no mercado ainda eram sistemas proprietários, [28].

Algumas organizações de padronização trabalharam na publicação de normas, incluindo a Conferência Européia das Administrações de Correios e Telecomunicações (CEPT - *European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) e a Organização Internacional de Padrões (ISO - *International Organization of Standards*). O Auto-ID Center, no M.I.T. (*Massachusetts Institute of Technology*), foi criado em 1999 exatamente com esse propósito, normatização. Atualmente, todas essas organizações estão trabalhando em padrões para a tecnologia de RFID, visando à aplicação na cadeia de suprimentos e no gerenciamento de estoques. Ainda na década de 90, identificou-se a expansão da aplicação da tecnologia de RFID por países como: Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, China, Cingapura, Filipinas, México e Japão.

O século XXI começou com a significativa redução dos custos das etiquetas de RFID, chegando a valores entorno de U\$ 0,05. As implicações que a adoção dessa tecnologia gerou para as distribuidoras de produtos e para as redes de varejo chamaram a atenção da indústria. Em 2003, o *Wal-Mart* e o DoD (U.S. *Department of Defense*), a maior rede de varejo e a maior cadeia de suprimentos do mundo respectivamente, incentivaram o RFID obrigando seus fornecedores a adotarem a tecnologia até o final do ano de 2005. O grande alcance dessa medida conjunta provocou um enorme aumento no mercado para o RFID. Outras redes de varejo e fabricantes, como Target, Proctor & Gamble e Gillete seguiram a implantação dessa tecnologia.

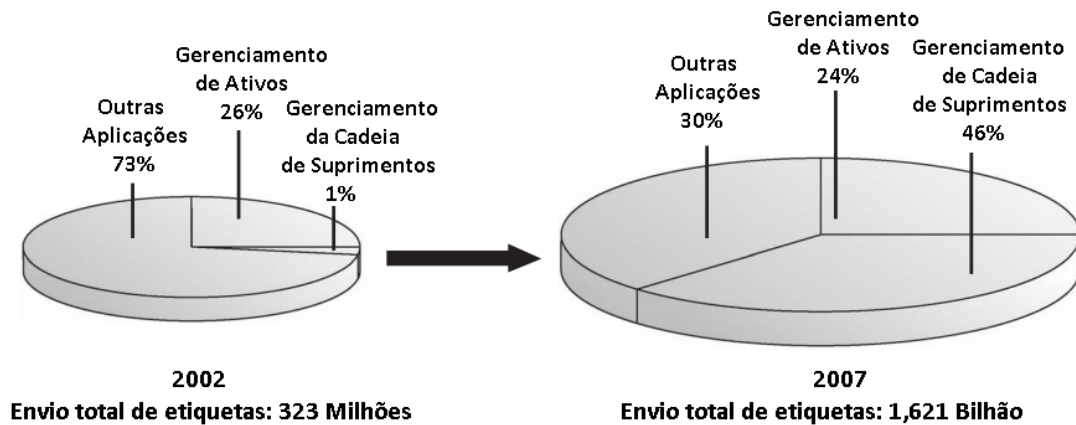


Figura Anexo B 4 Envio total de etiquetas: 2002 vs 2007, [28].

Além disso, ainda em 2003, o Auto-ID Center foi incorporado a EPCglobal, uma joint-venture, hoje chamada GS1, entre o *Uniform Product Code Council* (UPCC), controladores do *UPC Bar Code Symbol*, e a *European Article Numbering* (EAN). A tecnologia do EPC foi adotada por *Wal-Mart*, DoD e pela indústria de RFID. Os padrões desenvolvidos pelo EPC foram adotados pela ISO em 2006, dando à indústria desta tecnologia uma única fonte para guiar o desenvolvimento de novos produtos (Figura Anexo B- 2). Essa convergência de padrões visou aumentar a competição entre diversas empresas do mercado para reduzir custos e consolidar a tecnologia. Atualmente, tem-se um número cada vez maior de aplicações para o RFID, a um custo menor, para os mais variados projetos e ambientes, [28].

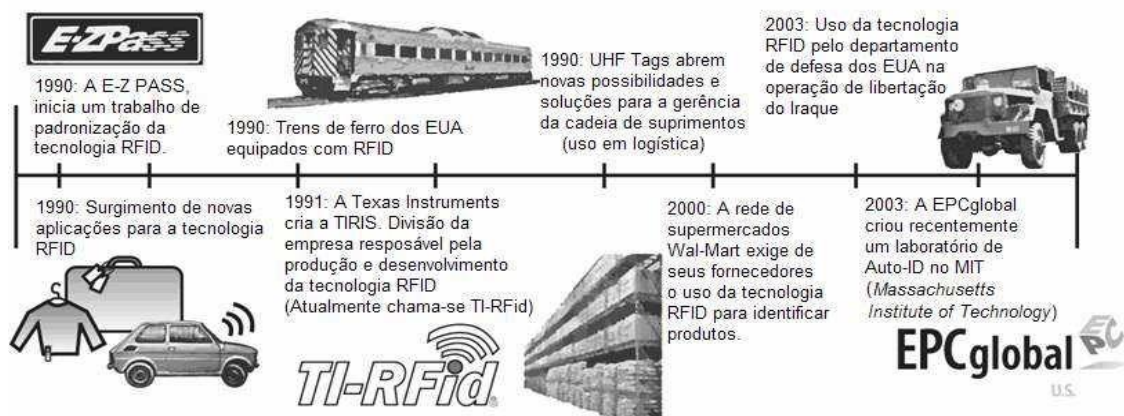


Figura Anexo B 5 Evolução dos Sistemas de RFID (1990-2003), [7].

Anexo C Leitora de RFID

Funções Críticas de Leitoras

Além das três funções básicas apresentadas, leitoras mais complexas são capazes de realizar outras três funções críticas: tratamento anti-colisão (como medida para garantir a comunicação simultânea, leitura e escrita, em um ambiente com muitas etiquetas), autenticação (para evitar fraudes ou o acesso não autorizado ao sistema) e criptografia dos dados (como forma de proteger a integridade dos mesmos).

Algoritmos anti-colisão são implementados para permitir que uma leitora possa se comunicar com várias etiquetas de uma vez só. Suponha que uma leitora emita um comando geral para as etiquetas transmitirem seus dados, não tendo a informação de quantas etiquetas possam estar em sua zona de leitura. No pior caso, algumas centenas de etiquetas podem receber essa requisição e todas elas vão tentar responder ao mesmo tempo. Obviamente, uma atitude tem que ser tomada nessa situação: tratamento anti-colisão. Existem três tipos de técnicas de anti-colisão: espacial, frequência e no domínio do tempo. Todas as três são usadas para estabelecer uma hierarquia ou ordem ou alguma forma de escolha aleatória a fim de evitar que o problema acima ocorra, ou pelo menos tornar a ocorrência desse problema estatisticamente improvável.

Sistemas que necessitam de algum tipo de segurança exigem que uma leitora identifique o usuário para então permitir ou não o acesso a um determinado sistema. Pontos de venda, por exemplo, em que o dinheiro é trocado e as contas são debitadas, seriam propensos à fraude se medidas de identificação do vendedor e da venda não fossem tomadas. Neste exemplo, o processo de autenticação será provavelmente de duas etapas: uma parte do processo na leitora e a outra parte no software de gerência no computador. Existem basicamente dois tipos de autenticação: *mutual symmetrical* e *derived keys*. Em ambos os sistemas, uma etiqueta de RFID fornece um código de chave para a leitora, o qual é passado a um algoritmo para determinar se a chave da etiqueta é autorizada para acessar o sistema.

A encriptação dos dados é outra medida de segurança que deve ser tomada para impedir que usuários indesejados tenham acesso às informações,

mesmo que esse acesse o fluxo de dados. Imagine que um terceiro tente interceptar a chave de um usuário. Essa informação poderia então ser utilizada para fazer compras fraudulentas, tal como acontece com cartões de crédito clonados. A fim de proteger a integridade dos dados transmitidos sem fios, e para evitar a interceptação por um terceiro, a criptografia é utilizada. Para fazer isso, a leitora deve implementar a criptografia e a descryptografia, [28].

Tratamento do Sinal de Leitoras

Todas as leitoras que trabalham com radiofrequência, não só as de RFID, devem executar algumas funções genéricas sobre o sinal. Pequenos sinais devem ser amplificados, sinais de alta frequência devem ser gerados, sinais em diferentes frequências devem ser combinados para gerar novas frequências, e sinais na frequência desejada devem ser amplificados enquanto que os sinais nas demais frequências devem ser atenuados. Os componentes, respectivamente, que executam essas funções são: amplificadores, osciladores, misturadores e filtros. Em leitoras modernas, os sinais são digitalizados antes de serem processados. A Figura Anexo C 1 apresenta os símbolos comuns para estes componentes e mostra como cada componente modifica os sinais que ele recebe.

Dependendo do comportamento de leitura da antena, o sinal recebido pela leitora pode ser uma mistura de uma grande variedade de frequências devido às muitas fontes geradoras de ondas de rádio em diferentes frequências e níveis de energia, como pode ser visto na Figura Anexo C 1, (1). O filtro seletor da banda de operação, idealmente, remove a maioria dos sinais fora desse intervalo de interesse (por exemplo, 902,5-907 MHz no Brasil), deixando os sinais de rádio na frequência desejada, seja ele oriundo de um ou mais transmissores (2). Estes sinais são, opcionalmente, amplificados (3) e, em seguida, passados a um misturador, onde são misturados com um sinal de amplitude e frequência constantes gerados pelo oscilador (4). Aplica-se uma filtragem passa-baixas ao resultado dessa mistura, removendo sinais com frequências superiores à de corte, e se tem como resultado um sinal de baixa frequência, cuja amplitude reflete a intensidade do sinal médio do sinal de alta frequência: o envelope do sinal (5). Esse sinal de baixa frequência é amplificado

(6) e, em seguida, convertido por um conversor analógico-digital para um conjunto de bits que representa o sinal, [2].

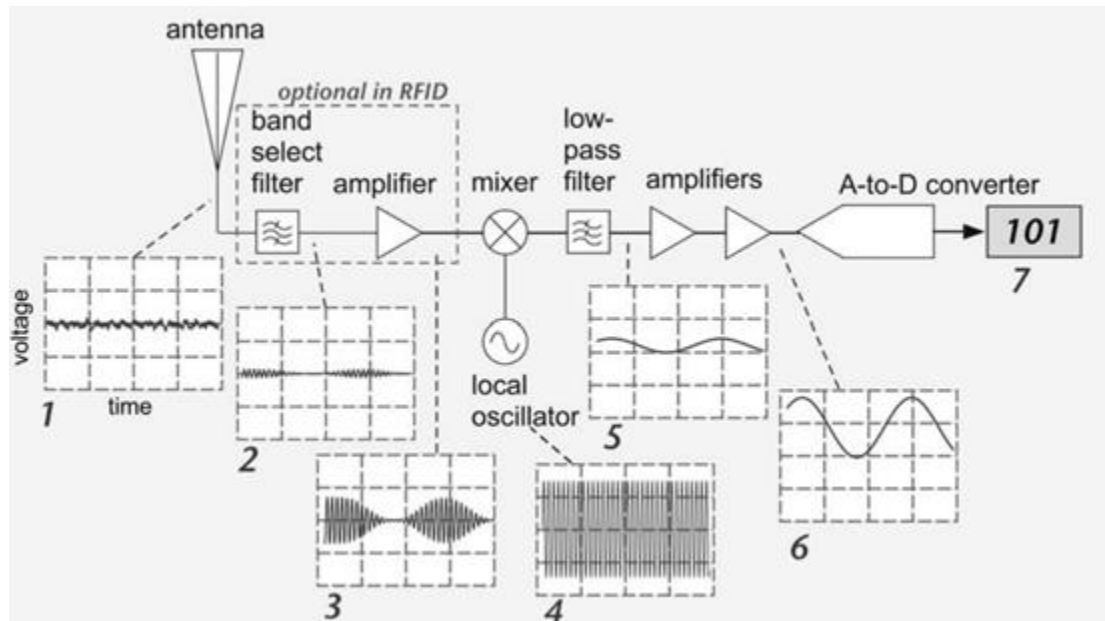


Figura Anexo C 1 Topologia interna de uma leitora, abordagem segundo a operação sobre o sinal, [2].

Anexo D Frequências de Operação de Sistemas RFID

A regulamentação para sistemas de RFID na faixa de frequência de 860 – 960 MHz (UHF) é muito complicada no mundo inteiro. Essa dificuldade vem do fato da telefonia celular e de outras aplicações comuns e importantes ocuparem a mesma faixa de operação. Diferentes países têm feito escolhas diferentes sobre o que pode funcionar e onde, como pode ser visto na Figura Anexo D- 1. Porém, a faixa de 2,4 - 2,45 GHz está disponível para operação sem licença em quase todas as regiões do mundo. Essa liberdade faz aumentar a quantidade de dispositivos operando nessa região do espectro, aumentando a possibilidade de um interferir no funcionamento do outro. Por outro lado, a maior frequência permite utilizar etiquetas menores e mais baratas, mas que possuem um alcance de leitura menor, [6].

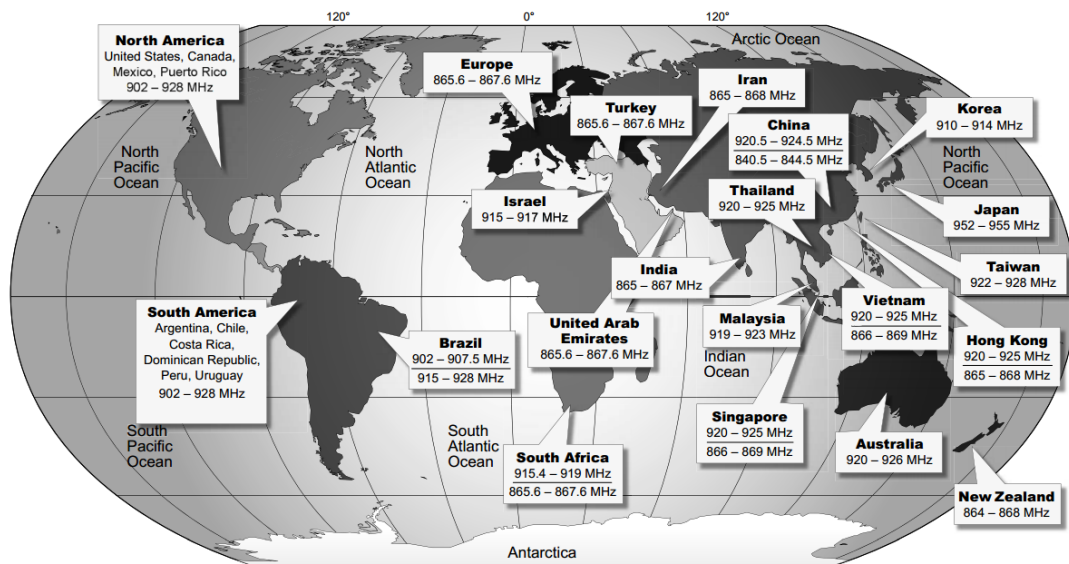


Figura Anexo D 1 Mapeamento mundial das faixas de frequências regulamentadas, [2].

A faixa de operação a baixas frequências (LF), variando de 30 KHz a 300 KHz, geralmente é implementada em sistemas de RFID nas frequências ISM de 125 KHz e 134 KHz. Essa faixa de operação tem como características um curto alcance, geralmente menor que meio metro, e uma menor velocidade de leitura. De modo geral, quanto maior a frequência, maior é o alcance de leitura e maior é a taxa de transferência de dados. Operar em baixas frequências possui uma grande vantagem: menor absorção. O maior comprimento das ondas dessa faixa de operação, característica que é inversamente proporcional à frequência, faz com que os sinais da faixa LF não sejam facilmente absorvidos pela atmosfera

e pelos materiais aos quais ela atravessa. Por essa razão, sistemas de RFID operando na faixa de baixas frequências trabalham bem próximos a água e a metal. Essa indiferença às influências externas faz com que essa escolha resulte em um sistema robusto, tendo como aplicações: controle de acesso, rastreamento de pessoas e animais, [2].

A faixa de operação a altas frequências (HF), variando de 3 MHz a 30 MHz, geralmente é implementada em sistemas de RFID na frequência ISM de 13,56 MHz, frequência essa de operação para sistemas de RFID que é aceita no mundo todo. O alcance de leitura dessa faixa de operação é, em média, de três metros. Comparando com a faixa de operação anterior, baixas frequências, a faixa de operação em questão garante uma maior velocidade nas transferências de dados (leitura). Por outro lado, ainda em relação à faixa de operação anterior, essa faixa de operação é menos resistente a absorção. Devido a essas características, sistemas de RFID operando em altas frequências têm sido usados para aplicações como: controle de acesso de grandes edifícios, rastreamento de itens em grande quantidade (bagagem) e em bibliotecas. Por poder operar nas frequências ISM de 13,56 MHz, que é mundialmente aceita, é cada vez maior o número de sistemas de RFID implementados para operar nessa faixa, altas frequências (HF). [4].

A faixa de operação a ultra-altas frequências (UHF), variando de 300 MHz a 3 GHz, geralmente é implementada em sistemas de RFID nas frequências de 344 MHz e no intervalo de 860 MHz a 960 MHz. A velocidade de leitura e a taxa de transferência de dados para sistemas operando nessa faixa de operação são elevadas. Por outro lado, devido aos curtos comprimentos das ondas os sinais dessa faixa de operação são facilmente absorvidos por líquidos e metais. Essa interferência pode reduzir consideravelmente o alcance de leitura. Como pode ser visto na Figura Anexo D- 2, cada país alocou um intervalo de frequência para sistemas de RFID nessa faixa de operação, não garantindo a operação de um sistema UHF de um país em outro. Além disso, muito outros dispositivos já usam da faixa de operação a ultra-altas frequências, aumentando a chance dos sistemas de RFID sofrerem interferência. As características dessa faixa de operação, velocidade e distância de leituras elevadas, fazem dela interessante para aplicações como: cobrança automática de pedágio, gestão de armazéns e controle de estoque.

A faixa de operação a microondas, variando de 1 GHz a 300 GHz, geralmente é implementada em sistemas de RFID nas frequências ISM de 2,44 GHz e 5,80 GHz. Devido essa faixa operar em frequências mais altas, ela possui elevada velocidade e longo alcance de leitura e, ainda, elevada taxa de transferência de dados. Devido aos mais curtos comprimentos de onda, por operar nas frequências mais altas, os sinais dessa faixa de operação têm o pior desempenho próximos a líquidos e metais. As características dessa faixa de operação, velocidade e distância de leituras elevadas e alta taxa de transferência de dados, fazem dela interessante para aplicações como: controle de acesso à longa distância e identificação para veículos, cobrança automática de pedágio e na cadeia de suprimentos, [6].

O alcance de leitura de um sistema de RFID é uma característica importante e é normalmente influenciado pelos seguintes fatores:

- Frequência de operação: a potência recebida pela etiqueta depende do tamanho da antena, o que por sua vez depende da frequência (ou o comprimento de onda) do sinal recebido.
- Potência do sinal emitido pela leitora: ganho esse que é regulado. Etiquetas passivas obtêm energia a partir da energia proveniente do sinal emitido pela leitora.
- Sensibilidade da etiqueta: a distância máxima de leitura depende dos requisitos de alimentação da etiqueta, que por sua vez depende do tipo de etiqueta (ativa ou passiva) e do tamanho da antena da etiqueta.
- Técnica de comunicação: o alcance de leitura também depende de qual técnica de comunicação o sistema de RFID está usando: acoplamento indutivo ou retroespalhamento.

Anexo E Padronização de Sistemas RFID

Os sistemas de identificação por radiofrequência são regulamentados como equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita, o qual está no anexo da Resolução ANATEL N° 365, de 10 de maio de 2004. Este regulamento tem por objetivo caracterizar os equipamentos de radiação restrita e estabelecer as condições de uso da radiofrequência, para que os dispositivos possam ser utilizados com dispensa da licença de funcionamento e a liberação da necessidade de autorização de uso de radiofrequência.

EPCglobal

O Código Eletrônico de Produto (EPC – Eletronic Product Code) define uma nova arquitetura que utiliza recursos oferecidos pela tecnologia de radiofrequência, e serve de referência para o desenvolvimento de novas aplicações. Tem como meta usar das mais atuais infraestruturas, como a Internet, para expandir o conceito da identificação. O objetivo é permitir uma maior troca de informação dentro de um sistema. O EPC acelera os processos e permite um maior controle sobre os produtos por meio da disponibilização de informações de melhor qualidade quando comparado a outras tecnologias “clássicas”, como o código de barra. É o rastreamento total, não somente de um processo ou de uma empresa, mas de cada produto individual aberto a toda a cadeia de suprimentos, [8].

Na data da padronização do EPC, o Auto-ID Center trabalhava com duas tecnologias satisfatórias para as necessidades levantadas. A primeira, baseada na tecnologia RFID UHF da empresa Matrics, hoje Symbol, foi denominada EPC Classe 0. A segunda, baseada na tecnologia RFID UHF da empresa Alien Techonology, foi denominada EPC Classe 1. As duas tecnologias possuíam vantagens e desvantagens específicas, padronizar em classes diferentes foi uma forma de acelerar a padronização, [6].

O padrão EPC Classe 0 possui alta performance de leitura com capacidade de até 1000 etiquetas por segundo, memória de até 64 bits para armazenamento do número EPC e um bom alcance de leitura, até 10 metros. Sua maior deficiência é por não possibilitar gravação. As etiquetas são apenas

de leitura. Elas vêm programadas com um número único de fábrica e não podem ser alterados.

O padrão EPC Classe 1, por outro lado, permite a gravação em etiquetas uma única vez. A capacidade da etiqueta é de 96 bits para armazenamento do número EPC. Sua maior deficiência é o desempenho de leitura inferior, até 300 etiquetas por segundo, e o alcance de leitura inferior, de até 8 metros, [6].

Para garantir que o Código Eletrônico de Produto fosse padrão no mundo inteiro, a EPCglobal desenvolveu um protocolo próprio, de nome EPCglobal, e uma estrutura de rede, integrada com a internet, para que fosse possível consultar as informações associadas a um número EPC de uma etiqueta, EPCglobal Network, [8].

EPCglobal Network

A estrutura de rede EPCglobal Network é composta por quatro componentes básicos:

- Objeto com etiqueta EPC dotado de um número EPC;
- Computador Savant;
- Servidor ONS (*Object Name Service*) e;
- Servidor PML (*Physical Markup Language*).

A etiqueta EPC é um componente eletrônico (chip semiconductor) que tem o seu número de identificação gravado e um transmissor conectado a uma antena. As etiquetas podem ser confeccionadas em todos os tamanhos e formatos, com espessura tão fina que permite a aplicação na superfície dos produtos. Algumas têm a capacidade adicional de registrar novos dados. O número EPC é o identificador global e único, utilizado para acessar os dados na rede EPC. Acomoda as informações do Identificador Global de Item Comercial (GTIN - *Global Trade Item Number*), que identifica os produtos no Sistema GS1.

O Savant atua como o sistema nervoso da rede. Também chamado de EPC Middleware, recebe o código pela leitora, pergunta ao ONS onde encontrar informação sobre um produto, e então busca os dados na rede, conforme definido pelo ONS. O Savant foi desenvolvido para ser diferente dos demais softwares corporativos, que são em sua maioria aplicações concentradas. Em vez disso, o Savant foi desenvolvido em uma arquitetura distribuída e o software

pode ser organizado em uma hierarquia para gerenciar o fluxo de dados. A visão era de que haveriam Savants rodando em computadores em lojas, centros de distribuição, escritórios, fábricas, talvez até mesmo em caminhões e em aviões de carga. A aplicação Savant em cada nível seria responsável por reunir, armazenar e atuar sobre as informações e até interagir com outros Savants. Empresas têm tomado esses conceitos e incorporado muitas das funções previstas para Savants no middleware de seus produtos, tal como acontece com o RFID.

O Serviço de Nomeação de Objeto (ONS) é bastante semelhante ao Serviço de Nome de Domínio (DNS) da Internet. O serviço ONS traduz números EPC para endereços da Internet onde estão armazenadas as informações dos objetos com os respectivos números EPC. Isso faz com que as consultas de informações baseadas em número EPC, disparadas pelo computador Savant, sejam remetidas para os bancos de dados que contenham as informações solicitadas, servidor PML.

Os servidores PML são baseados na linguagem, mundialmente aceita, XML. Essa linguagem é usada para representar tipos comuns de dados (endereços, datas e número de faturas, por exemplo) e operações (compras e pedidos de cotações, por exemplo) em uma forma que computadores rodando diferentes aplicações proprietárias possam entender. Os arquivos PML ficaram armazenados no Serviço de Informação EPC, composto pelos servidores PML conectados pela internet e distribuídos pelo mundo nas empresas que mantêm bancos de dados de seus produtos. As informações sobre cada produto serão armazenadas em arquivos PML, podendo ser o nome de um produto e sua categoria (refrigerantes, peça de automóvel e roupas, por exemplo), quando e onde foi feito, data de validade, sua localização atual e temperatura atual. Arquivos PML irão fornecer informações para as aplicações corporativas, existentes ou a serem desenvolvidas, residentes no computador Savant, [6].

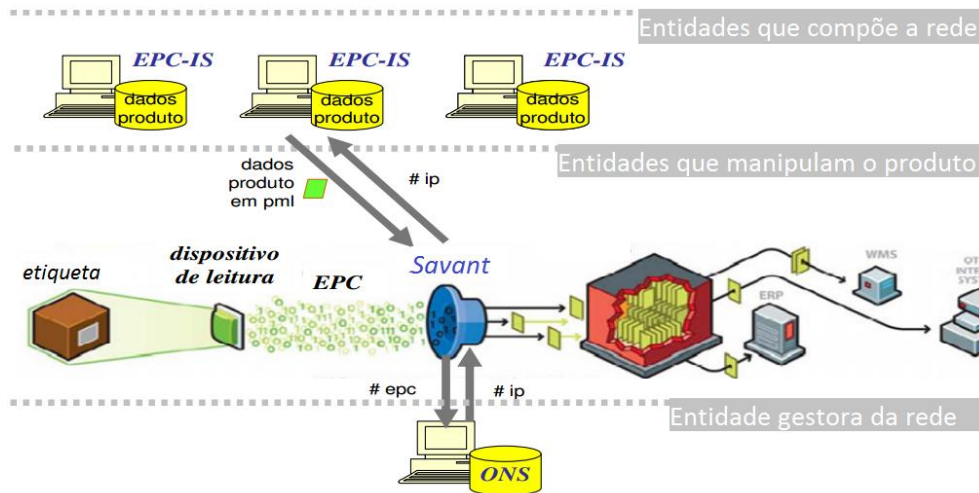


Figura Anexo E 1 Organização da rede EPCglobal Network, [6].

Classificação das Etiquetas EPC

As etiquetas EPC podem ser encontradas, por padrão, em duas opções de capacidade de memória para o armazenamento do número EPC: 64 bits e 96 bits. Para acomodar os inúmeros níveis de complexidade, levando em conta funcionalidades e alimentação, foi proposta uma classificação em seis classes para as etiquetas. As classes são apresentadas a seguir, Figura Anexo E- 1 e Tabela Anexo E- 1.

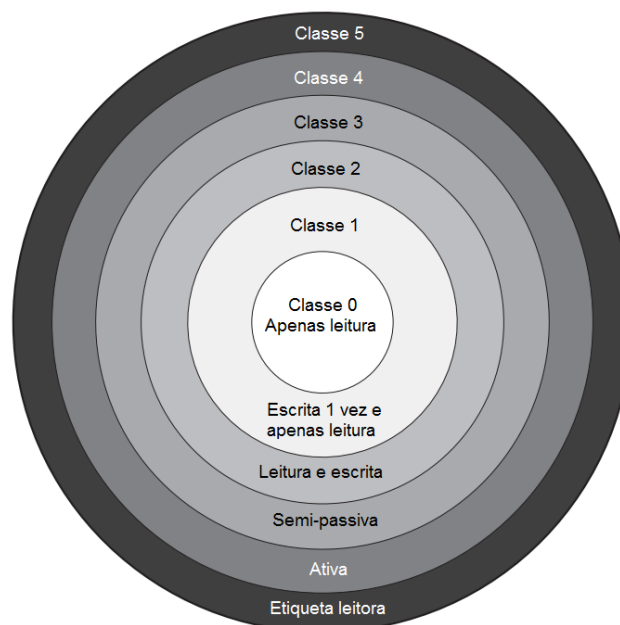


Figura Anexo E 2 Classificação das Etiquetas EPC, [4].

Tabela Anexo E 1 Classificação das Etiquetas EPC, [4]

Classe da Etiqueta	Alimentação	Comunicação	Memória	Características
Classe 0	Passiva	Não inicia comunicação	Somente leitura	O número EPC é escrito na etiqueta durante o processo de fabricação.
Classe 1	Passiva	Não inicia comunicação	Uma escrita e ilimitadas leituras	O número EPC é escrito pelo usuário.
Classe 2	Passiva	Não inicia comunicação	Escrita e ilimitadas leituras	Tipicamente, são usadas para registrar dados. Por isso, costumam ter mais memória que o necessário a identificação.
Classe 3	Semi-Passiva	Não inicia comunicação	Escrita e ilimitadas leituras	Características semelhante à da Classe 2. Além disso, a memória interna permite a gravação de dados provenientes de sensores.
Classe 4	Ativa	Pode ser ativa, pode iniciar comunicação	Escrita e ilimitadas leituras	Características semelhante à da Classe 3. Além disso, pode iniciar comunicação com outra etiqueta da mesma classe.
Classe 5	Ativa	Pode ser ativa, pode iniciar comunicação	Escrita e ilimitadas leituras	Características semelhante à da Classe 4. Além disso, pode iniciar comunicação com outra etiqueta de qualquer classe (0, 1, 2, 3, 4 e 5). Por conta disso, é também conhecida como etiqueta leitora.

Anexo F Telas da Aplicação Corporativa

MENU

Tela Ambiente Gerente Ambientes Gerente Usuários Gerente Leitoras Gerente Historicos

Ambientes

Nome do Ambiente: Sala_2

Quantidade Usuários: 1

Carga Termica: 3774

Luzes: True

Ar Condicionado: True

Usuários

NOME DO USUÁRIO	NÚMERO DA MATRÍCULA	ULTIMA ATUALIZAÇÃO	FOTO
Filipe	0943339	28/03/2013 23:34:30	

Atualizar

Figura Anexo F 1 Tela "Tela Ambiente" da Aplicação Corporativa.



MENU

Tela Ambiente Gerente Ambientes Gerente Usuarios Gerente Leitoras Gerente Historicos

Ambientes

+ - A-Z ↕ Pesquisar P

Sala_1	Nome do Ambiente:	Sala_2
Sala_2	Quantidade Usuarios:	1
Sala_3	Carga Termica:	3774
FORA	Luzes:	True
	Ar Condicionado:	True

1

Salvar Atualizar

Figura Anexo F 2 Tela "Gerente Ambientes" da Aplicação Corporativa.


MENU

Tela Ambiente Gerente Ambientes Gerente Usuários Gerente Leitoras Gerente Históricos

Usuários

Fred

Filipe

Foto: 

Nome do Usuário: Filipe

Número da Matrícula: 0943339

E-mail: www.facebook.com/filiperdoliveira

Telefone:

Sexo: Masculino

Peso [Kg]: 82

Carga Termica: 3774

Ambiente Atual: Sala_2

Última Atualização: 28/03/2013 23:34:30

Etiquetas

NÚMERO EPC 0000 0000 0000 0001 048C

1

+ - +

Pesquisar

Salvar Atualizar

Figura Anexo F 3 Tela "Gerente Usuários" da Aplicação Corporativa.



MENU

Tela Ambiente Gerente Ambientantes Gerente Usuários Gerente Leitoras Gerente Historicos

Leitoras

Nome da Leitora: Leitora_1

String de Conexão: speedwayr-10-9f-c8.local

Antenas

NOME DA ANTENA	NÚMERO DA PORTA	AMBIENTE 1	AMBIENTE 2	NÚMERO EPCDESCONHECIDO MAIS
Antena_1	1	Sala_1	Sala_3	0000 0000 0000 0000 0001 044F
Antena_2	2	Sala_2	Sala_3	E200 1036 8216 0115 1540 74D6

Leitora_1

Leitora_2

Leitora_3

Salvar Atualizar

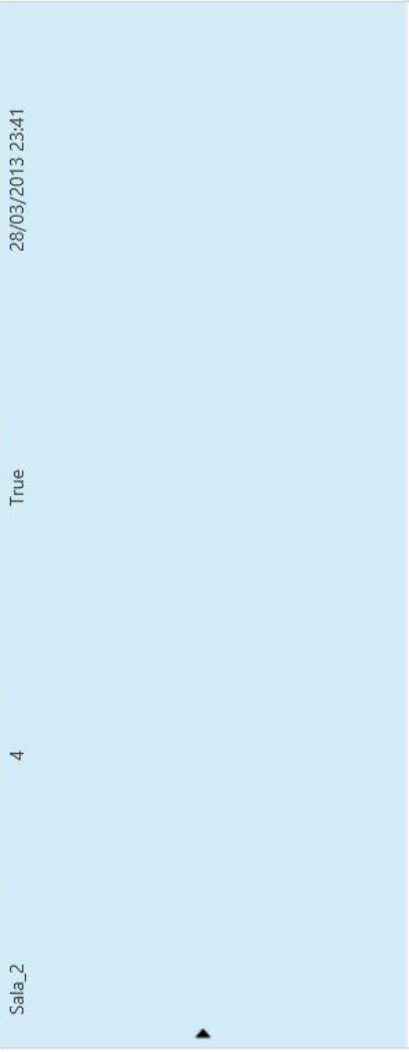
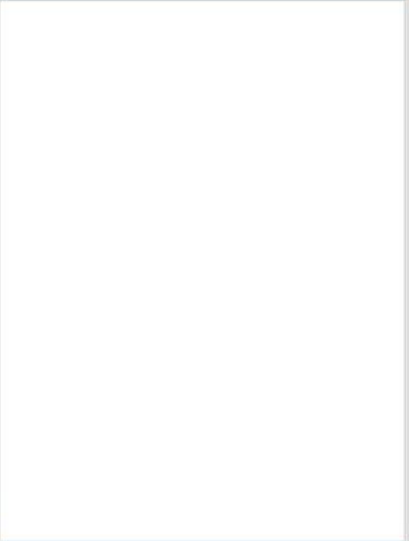
Figura Anexo F 4 Tela "Gerente Leitoras" da Aplicação Corporativa.

MENU

Tela Ambiente Gerente Ambientes Gerente Usuarios Gerente Leitoras Gerente Historicos

Historicos

Pesquisar

NOME AMBIENTE	ID AMBIENTE	AMBIENTE LIGADO	ULTIMA ATUALIZACAO	FOTO
Sala_2	4	True	28/03/2013 23:41	
FORA	6	True	28/03/2013 23:41	

1 2

Salvar Atualizar

Figura Anexo F 5 Tela "Gerente Histórico" da Aplicação Corporativa.