Ponciano de Almeida Greff

Especificação de um Sistema para Monitoramento de Atividades de Natação usando RFId

São José – SC
outubro / 2009

Ponciano de Almeida Greff

Especificação de um Sistema para Monitoramento de Atividades de Natação usando RFId

Monografia apresentada à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Orientador:
Prof. Marcio Henrique Doniak

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

São José – SC
outubro / 2009

Monografia sob o título "Especificação de um Sistema para Monitoramento de Atividades de Natação usando RFId", defendida por Ponciano de Almeida Greff e aprovada em 08 de outubro de 2009, em São José, Santa Catarina, pela banca examinadora assim constituída:

Prof. Marcio Henrique Doniak, MSc.
Orientador

Prof. Antônio Galdino da Costa, MSc.
IF – SC

Prof. Jaci Destri, Esp.
IF – SC

O Espírito de Deus me fez; e a inspiração do Todo-Poderoso me deu vida...porque Deus é maior do que o homem.
Jó 33.4,12

Agradecimentos

Ao Deus Eterno, pelo dom da vida e em todos os momentos estar ao meu lado, me auxiliando e me orientando na tomada de decisões;

À Benilde, minha querida esposa, pelo amor e compreensão em todos os momentos de dificuldades;

À Izontina, minha mãe, que sempre me incentivou a me dedicar aos estudos;

Ao professor Marcio Henrique Doniak pela orientação, compreensão, consideração e apoio;

Aos meus amigos, Reginaldo e Raquel que me apoiaram no decorrer desta jornada de estudos;

A todas aquelas pessoas que de alguma forma me ajudaram e/ou apoiaram a chegar até aqui;

Ao Instituto Federal de Santa Catarina que ofereceu estrutura de alto nível e educação de excelência.

Resumo

Este trabalho especifica um sistema para monitorar atividades de natação usando a tecnologia RFId (Identificação por Rádio Frequência). Os sistemas existentes no mercado que conseguem, de alguma forma, monitorar as atividades de natação, são falhos quanto à identificação de cada atleta que está nadando em uma raia da piscina, pois, é comum nadadores compartilharem uma raia de natação. O presente trabalho, usa a técnica de RFId para identificar os nadadores e monitorar o treino de cada um, sem que um interfira no outro.

Palavras-chave: RFId, natação.

Abstract

This paper specifies a system to monitor activities of swimming using RFID (Radio Frequency Identification). The systems on the market that can, in some way monitor the activities of swimming are flawed to the identification of all athletes who are swimming in a lane of the pool because it is common to swimmers share a lane swim. This work uses the technique of RFID to identify swimmers and monitor the training of each one, without interfering with one another.

Keywords: RFId, swimming.

Sumário

Agradecimentos 5
Resumo 6
Abstract 7
Sumário 8
Lista de Figuras 10
Lista de Tabelas 11
1 Introdução 12
1.1 Objetivos 12
1.2 Motivação 13
1.3 Organização do texto 13
2 Fundamentação de RFId 14
2.1 Contextualização Histórica e Tecnológica 14
2.2 Principais aplicações 18
2.2.1 Aplicação esportiva 18
2.3 Definições 20
2.3.1 Etiqueta 21
2.3.2 Protocolos 31
2.3.3 Leitor ou Transceiver 32
2.3.4 Antena 34
2.3.5 Middleware 35
2.4 Funcionamento do RFId 36
2.5 Regulamentação RFId 38
2.5.1 Principais normas ISO referentes ao RFId 39

3 Descrição do algoritmo 41

4 Modelamento matemático..... 48

4.1 Ondas 48

4.2 Tipos de Ondas 49

4.3 Descrição do modelo utilizado neste trabalho..... 50

4.3.1 Como ocorre uma virada em uma piscina 53

4.4 Modelo matemático 54

4.5 Especificação do sistema RFId 56

4.6 Modelo 1 57

4.7 Modelo 2 60

4.8 Modelo 3 63

4.9 Discusssão 65

4.10 Resultados 66

5 Descrição de cenários para a avaliação do sistema proposto 67

5.1 Cenário com um nadador por raia e leitura em uma única borda da piscina..... 68

5.2 Cenário com dois nadadores por raia e leitura em uma única borda da piscina 69

5.3 Cenário com um nadador por raia e leitura nas duas bordas da piscina 70

5.4 Cenário com um leitor para realizar a leitura em duas raias simultaneamente com um nadador por raia 72

5.5 Cenário com uma estrutura aérea sobre a água da piscina entre as raias na qual será instalado o leitor e com um nadador em cada raia..... 73

5.6 Cenário com um nadador descansando e um atleta nadando..... 74

6 Conclusão 76

6.1 Trabalhos Futuros 77

Referências Bibliográficas 78

Listas de Siglas e Abreviaturas 81

Lista de Figuras

Figura 1: A utilização da radiação refletida..... 15
Figura 2: Evolução Histórica do RFId..... 16
Figura 3: Evolução Tecnológica do RFId..... 16
Figura 4: Evolução Tecnológica do RFId..... 17
Figura 5: Sistema RFId..... 21
Figura 6: Componentes de uma etiqueta RFId 22
Figura 7: Faixa de frequência ISM 26
Figura 8: Forma do leitor de RFId operar..... 33
Figura 9: Circuito equivalente de antenas 35
Figura 10: Banda de frequência do RFId 37
Figura 11: Acoplamento indutivo versus acoplamento radiativo..... 38
Figura 12: Diagrama que ilustra a comunicação entre leitor, a etiqueta e a UPA..... 42
Figura 13: Diagrama que ilustra a comunicação entre a etiqueta e o leitor..... 43
Figura 14: Diagrama que mostra o algoritmo do sistema proposto..... 44
Figura 15: Diagrama que mostra a estrutura do sistema proposto exemplo de uma onda 46
Figura 16: Exemplo de uma Onda..... 49
Figura 17: Exemplo da propagação de um sinal em diferentes meios 52
Figura 18: Exemplo de um nadador realizando uma volta olímpica..... 53
Figura 19: Leiaute de uma piscina semi olímpica 68
Figura 20: Piscina com 6 raias com um nadador e um leitor em cada raia 69
Figura 21: Piscina com 6 raias com dois nadadores e um leitor em cada raia 70
Figura 22: Piscina com 6 raias com um nadador e um leitor em cada borda 71
Figura 23: Piscina com 6 raias com um nadador em cada raia e um leitor para duas raias 73
Figura 24: Piscina com 6 raias com um nadador em cada raia e um leitor aéreo para duas raias 74

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Resumo das faixas de frequência de operação do RFId e suas características..... 29
Tabela 2.2: Possíveis antenas para uso do sistema RFId 34
Tabela 2.3: Regulamento da alocação de frequência na banda UHF RFId para uso em algumas das principais regiões geográficas do mundo 39
Tabela 2.4: Resumo das principais normas ISO..... 39
Tabela 4.1: Ondas de Rádio até 300 kHz 50
Tabela 4.2: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 10 cm para o Modelo 1 59
Tabela 4.3: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 15 cm para o Modelo 1. 59
Tabela 4.4: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 20 cm para o Modelo 1. 60
Tabela 4.5: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 10 cm para o Modelo 2. 61
Tabela 4.6: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 15 cm para o Modelo 2. 62
Tabela 4.7: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 20 cm para o Modelo 2. 62
Tabela 4.8: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 10 cm para o Modelo 3. 64
Tabela 4.9: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 15 cm para o Modelo 3. 64
Tabela 4.10: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 20 cm para o Modelo 3. 65

1 *Introdução*

A Identificação por Radiofrequência, cuja sigla mundialmente conhecida é RFId (Identificação por Rádio Frequência, *Radio Frequency Identificattion*), é um método de armazenamento e recuperação de dados de forma remota. Sua funcionalidade permite a rastreabilidade, armazenamento de dados, identificação de objetos, pessoas ou animais, permitindo o aumento da produtividade, diminuição de custos de logística e transporte, segurança em aeroportos, precisão na arbitragem de algumas modalidades esportivas.

Este trabalho visa explicar como é possível criar um sistema para monitorar atividades de natação usando a tecnologia RFId. Atualmente não existe um monitoramento preciso dos treinos realizados por atletas de natação em academias, as medições são realizadas manualmente através de cronômetros. Considerando-se que a tecnologia RFId já é utilizada em outras atividades esportivas, tais como o voleibol e o golf, resolveu-se estudar também para a implantação na natação.

Outro fator relevante é que o RFId está em forte crescimento no Brasil, pois neste ano o governo brasileiro assinou convênios incentivando o estudo e desenvolvimento desta tecnologia (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2009).

1.1 Objetivos

Avaliar a viabilidade do uso da tecnologia de RFId para monitorar atividades de natação.

Apontar a vantagem do uso do RFId, e o que será medido (quantidade de voltas e tempo da volta).

Apontar as dificuldades que esta tecnologia encontrar dentro de um ambiente aquático no qual o sistema estará inserido.

1.2 Motivação

Tendo em vista a dificuldade para realizar o monitoramento preciso de atletas em academias e clubes de natação foi estudada a tecnologia RFId, visando a criação de um sistema para monitorar em tempo real as atividades de natação em piscinas.

Considerando que esta tecnologia já foi explorada no voleibol e no futebol (INFO ABRIL, 2009), supõe-se que no caso da natação também trará benefícios aos atletas. No entanto, tal aplicação ainda carece de estudos.

A principal motivação é ter as mesmas informações que um corredor tem durante o desenvolvimento do seu treino.

1.3 Organização do texto

Este Capítulo apresentou o objetivo e a motivação do trabalho. O Capítulo 2 aborda a fundamentação da tecnologia de RFId, contendo: contextualização histórica e tecnológica, mostrando o avanço no desenvolvimento de novos produtos que utilizam o RFId, sendo apresentadas as principais aplicações RFId, dentre as quais, merece destaque a aplicação na área esportiva, pois é a área de atuação deste trabalho, também será descrito as definições dos componentes, o funcionamento e a regulamentação do RFId. No Capítulo 3 é realizada uma descrição do algoritmo, visando mostrar como se processa a troca de mensagens da etiqueta para o leitor e deste para o controlador. O Capítulo 4 apresenta uma parte conceitual sobre ondas, uma descrição sobre o modelo utilizado neste trabalho para descrever o monitoramento de atividades de natação, um modelo matemático e modelos de como o leitor de RFId poderá ser inserido em uma piscina. No Capítulo 5, serão apresentados os cenários para a avaliação do sistema proposto. Finalmente, o Capítulo 6 apresenta a conclusão e trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos.

2 *Fundamentação de RFId*

2.1 Contextualização Histórica e Tecnológica

A identificação por radiofrequência (RFId) está fundamentada nas descobertas da indução mútua ou eletromagnética de Faraday e no advento das transmissões por rádio e por radar. A aplicação RFId surgiu nos anos 30, onde aviões biplanos primitivos, de tecido e madeira, que tinham povoado os céus sobre os campos de batalha da Primeira Guerra Mundial, tornaram-se monoplanos de metal capazes de levar milhares de quilogramas de explosivos, viajando a centenas de quilômetros por hora, sem serem identificados. No entanto, em 1937 as forças armadas norte-americanas, em decorrência do problema na identificação de alvos terrestres, marítimos e aéreos, desenvolveram o método IFF (Identificação do amigo ou inimigo, *Identification Friend-or-Foe*) que permitia distinguir as aeronaves aliadas das inimigas.

Contudo, a simples descoberta da presença da aeronave não garantia estarem livres de ataques, pois muitas vezes havia falha na transmissão dos dados de identificação. Não se sabia de que lado estava a aeronave, se ela era inimiga. Foi exatamente esta dificuldade em identificar uma aeronave que permitiu a entrada das forças japonesas nos Estados Unidos, causando um ataque surpresa em Pearl Harbor em 1941. O problema de detectar, assim como de identificar aeronaves inimigas, desafiava todos os combatentes durante a Segunda Guerra Mundial (DOBLIN, 2008). Os alemães, então, descobriram que se seus pilotos fizessem uma manobra (girassem seus aviões) ao retornar à base, modificava o sinal de rádio, refletindo de volta ao radar localizado na base terrestre, conforme ilustra a Figura 1. Este foi o primeiro exemplo conhecido da utilização de um sistema de identificação por radio frequência.

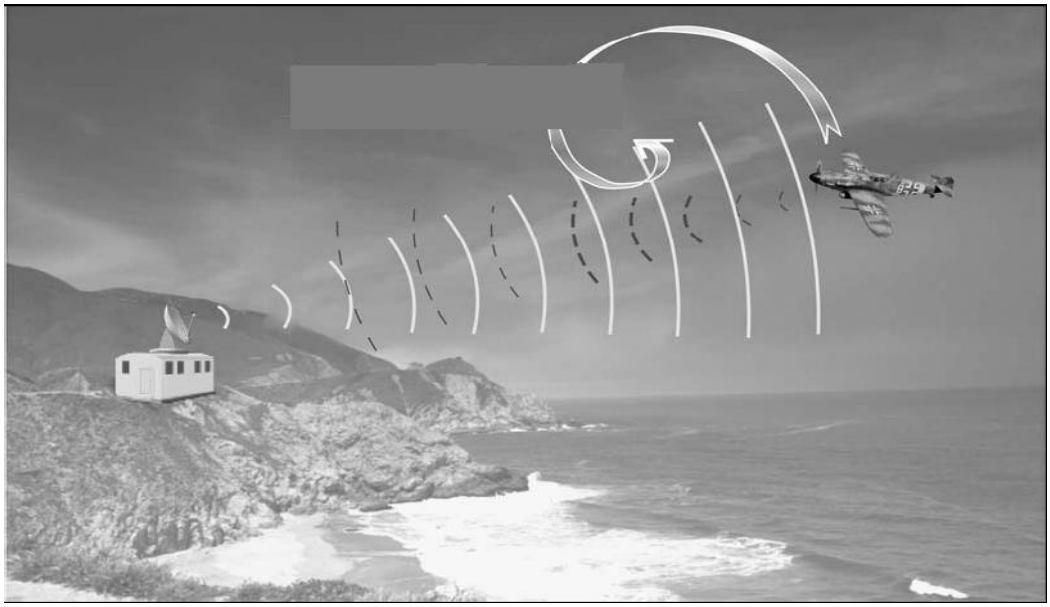

Figura 1: A utilização da Radiação refletida.

Fonte: (Doblin, 2008)

Algumas descobertas tecnológicas foram fundamentais para o advento do RFId. Esta evolução tecnológica está ilustrada nas Figuras 2, 3 e 4. A Figura 2 ilustra a evolução histórica da Tecnologia RFId desde 1880 até 1958, em que se dá com as descobertas da energia eletromagnética por Faraday, seguida pela invenção do rádio por Guglielmo Marconi em 1897 e pelo descobrimento do radar em 1922. Também na Inglaterra em 1937, Watson-Watt desenvolveu o primeiro identificador ativo de amigo ou inimigo *(IFF – Identify Friend or Foe)*. Todo avião britânico recebeu um transmissor que, ao receberem sinais das estações de radar, começavam a transmitir um sinal de resposta. Atualmente, a tecnologia RFId funciona pelo mesmo princípio: um sinal é enviado a uma etiqueta eletrônica que é ativada e reflete de volta o sinal (sistema passivo) ou transmite seu próprio sinal (sistemas ativos). Continuando as descobertas, tem-se a invenção do circuito integrado pelo engenheiro americano Jack Kilby em 1958. Foi uma das inovações mais importantes da humanidade, a qual permitiu a miniaturização dos circuitos eletrônicos o que lhe rendeu o prêmio Nobel no ano 2000.

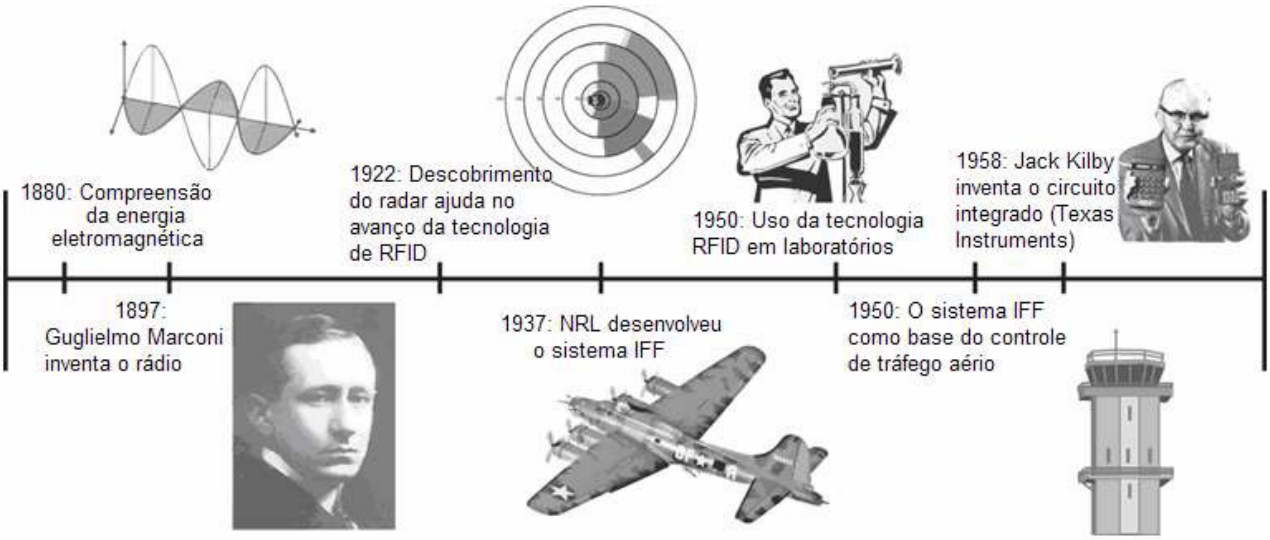

Figura 2: Evolução Histórica do RFId.

Fonte: (Oliveira, 2006)

Inicialmente, o sistema RFId era muito complexo, possuía poucos recursos e aplicações, mas ao decorrer dos anos, ele teve uma vasta evolução tecnológica. Em 1960 a tecnologia RFId era utilizada para vigilância eletrônica de objetos, já em 1970, várias empresas pesquisaram e requereram a patente da mesma. Entre 1970 e 1980 começou a ser usada para rastreamento de animais e automação industrial, sendo usada para coleta de pedágio em 1987 na Noruega. A Figura 3 ilustra a evolução histórica do RFId entre as décadas de 60 e 90.

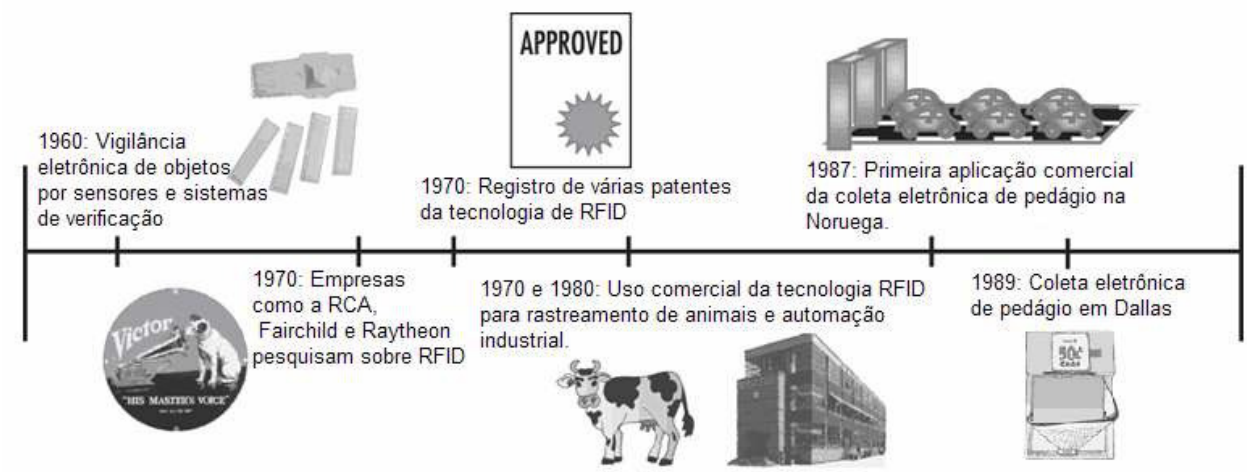

Figura 3: Evolução Tecnológica do RFId.

Fonte: (Oliveira, 2006)

Em 1990, a evolução da tecnologia ocorreu em vários segmentos do mercado, entre eles: setor logístico, transportadoras, trens, aeroportos, roupas e automóveis. No ano de 1991 a *Texas Instruments* criou a TIRIS, divisão da empresa responsável pela produção e desenvolvimento da tecnologia RFId, com o objetivo de realizar pesquisas avançadas sobre a mesma. Em 2003, a EPCglobal criou um laboratório de Auto-ID no MIT, e iniciou pesquisas em cinco das maiores universidades de pesquisas do mundo (Harvard – EUA, Cambridge – Inglaterra, Oxford – Inglaterra, MIT – EUA, Standford – EUA), envolvendo mais de 100 empresas do mundo, representando uma ampla rede de indústrias com diferentes necessidades e interesses (EPCGLOBAL; GS1, 2009). Esta evolução está ilustrada na Figura 4.

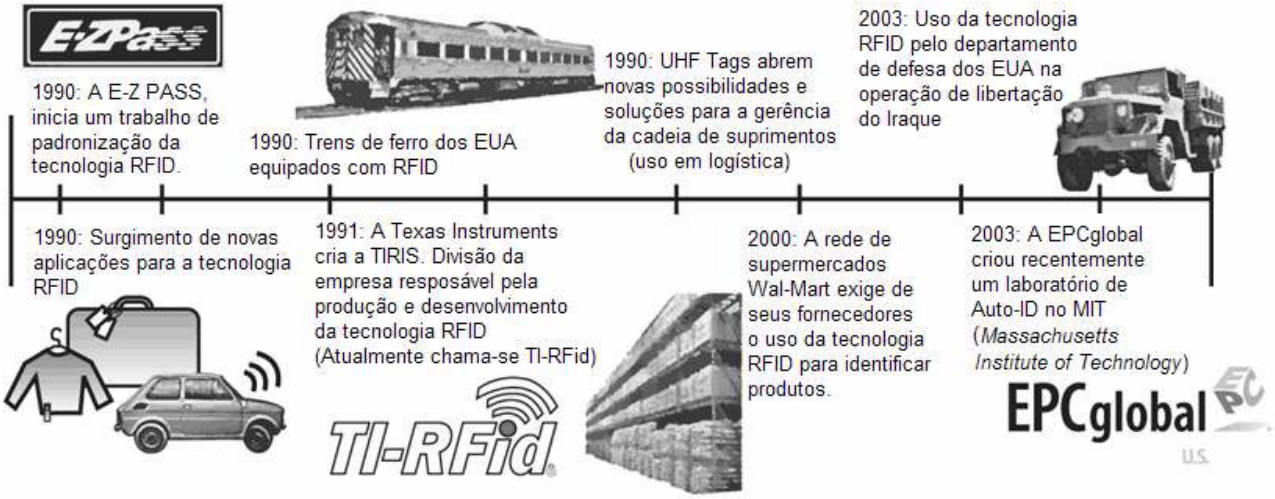

Figura 4: Evolução Tecnológica do RFId.
Fonte: (Oliveira, 2006)

O conceito de RFId e sua aplicação parecem simples e direto, mas na realidade, como qualquer sistema RF, não é. A RFId é uma tecnologia que atravessa sistemas, ampliando o desenvolvimento do software, teoria de circuito, teoria de antena, propagação de rádio, técnica de microonda, modelo de receptor, modelo de circuito integrado, criptografia, tecnologia de materiais, modelo mecânico e engenharia de rede. Números crescentes de engenheiros são envolvidos no desenvolvimento de aplicações RFId, e esta tendência provavelmente continuará (ROSA, 2006).

2.2 Principais Aplicações

As aplicações da tecnologia RFId são diversas e em diferentes áreas de atuação. Para ilustrar seu potencial, seguem algumas das suas principais aplicações:

a) Setor público: passaportes, bibliotecas;

b) Farmacêutico: autenticidade de produtos;

c) Automotivo: imobilizador eletrônico de motor;

d) Varejista: controle do fluxo de mercadoria;

e) Aéreo: identificação e movimentação de bagagens em aeroportos;

f) Médico-hospitalar: identificação de pacientes, controle da administração de medicamentos, exames de imagens.

g) Esportivo: tênis, atletismo e voleibol.

A indústria automobilística já utiliza tecnologia RFId desde a década de 1990 em imobilizadores de veículos (SCHMITT, 2009). Aplicações RFId dentro da indústria automobilística podem ser classificadas em dois esquemas básicos: sistemas *Closed-loop* (CL, padrão fechado) e sistemas *Open-loop* (OL, padrão aberto). O sistema CL significa um sistema com transponders RFId que estão ligados a um objeto permanentemente e permanece sobre ele enquanto ele é transportado e, depois retorna ao seu ponto de origem. Alguns fabricantes como BMW e Volkswagen já estão usando o sistema CL.

Os sistemas OL são muito pouco utilizados. A principal característica de um sistema OL é a de que o transponder RFId permanece em um objeto, e após um longo período de tempo, desvincula-se do objeto e não tem reutilização para este processo.

2.2.1 Aplicação Esportiva

O RFId tem se popularizado na área esportiva. Hoje ele já é visto auxiliando esportes como: atletismo, golfe, vôlei e tênis.

Se uma pessoa deseja participar de uma maratona ou corrida rústica, ela receberá um “chip”. Este é um *tag* de RFId, normalmente posicionado no tênis do atleta. Assim, sempre que o atleta passar por um leitor de RFId, normalmente na forma de um portal, ficará registrada sua passagem e com isso, informações como tempo de prova pode ser observado, assim como, garantir que o atleta está seguindo o percurso correto.

O voleibol também está adotando a tecnologia RFId para averiguar as decisões dos juízes em lances duvidosos. Uma etiqueta de RFId é embutida na bola, as quais se comunicam com um conjunto de antenas que são instaladas ao longo da quadra, permitindo informar ao juiz, o local preciso onde a bola tocou a quadra, tendo uma margem de erro de apenas 2,5 cm. A duração da bateria é de aproximadamente seis horas, sendo recarregada através do orifício de enchimento de ar da bola (INFO ABRIL, 2009).

A CBV (Confederação Brasileira de Vôlei) aprovou a tecnologia, a qual deve ser usada em alguns jogos da Superliga 2009-2010, a principal competição de vôlei no País. O desenvolvimento desta tecnologia consumiu U$ 2 milhões em investimentos, porém, é possível colher dados técnicos sobre o desempenho dos atletas, como a velocidade das cortadas, a trajetória da bola na quadra e o ângulo em que as mãos dos atletas tocam a bola (INFO ABRIL, 2009).

Os Jogos Olímpicos de Pequim realizados em agosto de 2008 fez uso da tecnologia RFId para combater a falsificação de bilhetes eletrônicos de ingresso aos jogos. Foram comercializados cerca de 12,2 milhões de bilhetes eletrônicos e utilizados centenas de equipamentos para a fiscalização dos mesmos (SMART CARD ALLIANCE, 2009).

A tecnologia RFId já foi testada no futebol, mas a FIFA, Federação Internacional de Associações de Futebol vetou seu uso em partidas oficiais. A entidade máxima do futebol acredita que os erros de arbitragem e a polêmica fazem parte da atração do esporte (INFO ABRIL, 2009).

Nos Estados Unidos da América (EUA) a tecnologia RFId foi utilizada a partir de 2004 na prática esportiva do golfe, onde foi possível recuperar bolas de golfe que haviam sido perdidas. Através disto, o golfista em poucos segundos recupera uma bola perdida, evitando atraso no jogo e a necessidade de outros virem a localizar a bola. Isto também permitiu uma redução de custos, pois a vida útil de uma bola de golfe passou a ser mais longa. O raio de alcance está em torno de 10 a 30 metros, dependendo das condições do terreno e da qualidade do sistema adquirido (RFID-WEBLOG; RFIDBUZZ, 2009).

Atualmente, nos campeonatos de natação são utilizados equipamentos de cronometragem eletrônica para apuração de resultados, porém, é necessário ter 52 juízes para realizar a cronometragem e fiscalização dos atletas.

Na natação, não foi encontrado a utilização do sistema RFId, até este momento. Sabe-se que a água é um fator que influencia para diminuir o desempenho de sistemas RFId,

interferindo na comunicação entre leitores e etiquetas RFId passiva. O presente trabalho tem por objetivo avaliar o uso do RFId na natação, com a perspectiva de aferir o funcionamento das etiquetas RFId no monitoramento de nadadores em tempo real, ou seja, o nadador poderá saber o seu tempo de percurso na piscina bem como a distância total percorrida.

2.3 Definições

A identificação por radiofrequência (RFId) é uma tecnologia capaz de captar, gerenciar, analisar e responder aos dados provenientes de sensores eletrônicos. Composta por *transponders* (etiquetas de radiofrequência), leitores com antenas e computador ou outro tipo de controlador. RFId é uma tecnologia de identificação que utiliza a radiofrequência para capturar os dados, permitindo que uma etiqueta RFId seja lida sem a necessidade de contato ou campo visual, através de barreiras e objetos tais como madeira, plástico, papel, entre outros. É um método de armazenamento e recuperação de dados de forma remota. Ele funciona como um sistema poderoso de aquisição de dados em tempo real, com a vantagem de eliminar as intervenções humanas manuais e visuais, dinamizando assim o tempo de transições e assegurando eficiência e eficácia no processo.

O sistema RFId, normalmente, constitui-se de quatro componentes principais: etiqueta, leitor, antena e controlador *(middleware)*. As antenas são utilizadas para transmitir e receber sinais de radiofrequência, fazendo uso de várias faixas de frequência, que podem ser de dezenas de quilohertz até alguns gigahertz.

A Figura 5 apresenta um sistema RFId, o qual será explicado nos próximos tópicos, iniciando pela etiqueta ou *tag*. A Figura 5 mostra o controlador interligado com o leitor através de uma interface de comunicação. Na figura aparece o ID 1C043F na etiqueta e no controlador, ilustrando que houve uma correta leitura. A comunicação entre a etiqueta, leitor e controlador será detalhada na seção 4.1deste trabalho.

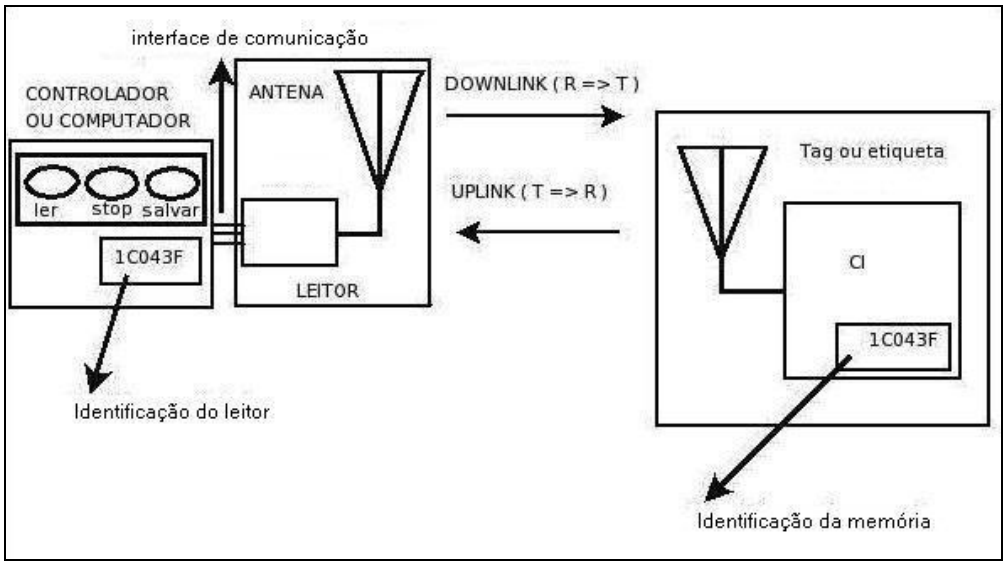

Figura 5: Sistema RFId.

Fonte: (Doblin, 2008)

2.3.1 Etiqueta

A etiqueta é um dispositivo que pode ser inserida ou incorporada a um objeto, animal ou pessoa. Ela possui antenas que são submetidas a um campo eletromagnético fazendo com que transmita sua identificação para o leitor. O processo de transmissão de um sinal da etiqueta para o leitor dura em torno de 100 ms. A etiqueta funciona a partir de um campo eletromagnético, onde as ondas eletromagnéticas em determinada frequência, conseguem transmitir informações sem que haja a necessidade de fios, e sem linha de visada, ou sem a ação de alguma pessoa (ROSA, 2006).

A etiqueta consiste em três componentes principais: antena, chip e substrato, conforme ilustra a Figura 6, e tem as seguintes funções (SANGHERA, 2007):

- Armazenamento da informação sobre um item;
- Processamento do pedido de informação a partir de um leitor;
- Preparar e enviar a resposta ao pedido do leitor.

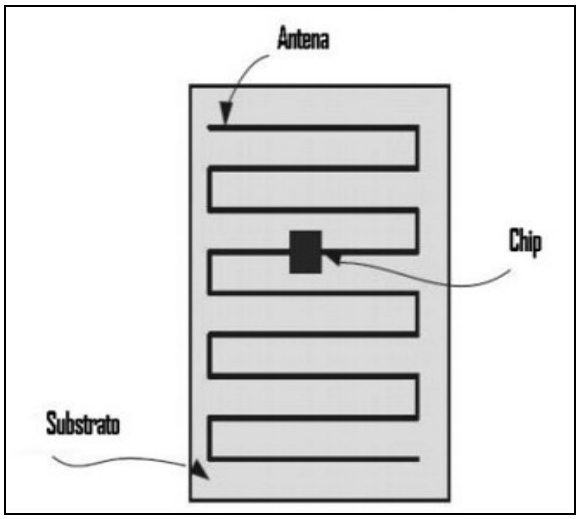

Figura 6: Componentes de uma etiqueta RFId.

Fonte: (Sanghera, 2007)

a) Chip

É utilizado para gerar um sinal ou processo. É um circuito integrado (CI) feito de silício (SANGHERA, 2007) e é constituído pelos seguintes componentes funcionais:

a.1) Unidade Lógica: implementa o protocolo de comunicação utilizado para a comunicação da etiqueta com o leitor.

a.2) Memória: usada para armazenar os dados, isto é, informações.

a.3) Modulador: utilizado para modular a saída de sinais e demodular a recepção de sinais.

O chip é conectado à antena para enviar sinal de saída e receber o sinal de entrada.

b) Antena

Em um sistema RFId, uma antena recebe o sinal (de um pedido de informação) a partir de um leitor e transmite um sinal resposta (identificação) para o mesmo. A antena é fabricada de metal ou de um material à base de metal. Ambos, leitores e etiquetas têm as suas próprias antenas. Duas considerações importantes:

b.1) As antenas são geralmente utilizadas pelas etiquetas que operam em frequências UHF e microondas.

b.2) As etiquetas (e leitores) que operam no LF e HF utilizam bobinas indutivas (como antenas) para enviar e receber sinais utilizando a técnica de comunicação por acoplamento indutivo, o que será abordado na seção 2.4 deste trabalho.

c) Substrato

Esta é a camada que abriga o chip e a antena. Em outras palavras, é a estrutura de apoio para a etiqueta. Substratos podem ser feitos de diferentes materiais como, plástico, polietileno tereftalato (PET), papel e vidro epóxi. O material do substrato pode ser rígido ou flexível, dependendo da utilização e requisitos. Substratos para as etiquetas RFId são projetados para satisfazer as necessidades específicas de utilização, tais como:

c.1) Dissipação da carga estática produzida;

c.2) Durabilidade sob determinadas condições operacionais;

c.3) Proteção mecânica do chip, da antena e das conexões.

Desta forma, as etiquetas de RFId, quando são submetidas ao campo eletromagnético do leitor de RFId, surge uma corrente induzida na etiqueta. Assim, o chip é capaz de modular e transmitir pela antena o código identificador da etiqueta para o leitor. As etiquetas são classificadas como passiva, semi-passiva e ativa. A descrição de cada uma delas será elaborada a seguir.

2.3.1.1 Classificação das etiquetas

A. Etiquetas Passivas

A principal característica das etiquetas passivas está no fato de não possuírem fonte de alimentação própria (PORTAL INDUSTRIAL, 2009). A mínima corrente elétrica induzida na antena gerada pelo campo eletromagnético, proporciona energia suficiente ao circuito integrado, sendo capaz de transmitir uma informação. Devido às preocupações com a potência e com o custo, a resposta de uma etiqueta passiva é pequena, ou seja, são poucos os dados que ela transmite, normalmente apenas um número de identificação (GUID), (Identificador Único Global, *Globally Unique Identifier*) contendo geralmente de 8 a 64 bits. A falta de uma fonte de alimentação própria proporciona a este dispositivo um tamanho pequeno.

As etiquetas passivas, na prática, atingem pequenas distâncias de leitura, as quais variam de 10 mm (milímetros) a 150 cm (centímetros) dependendo do tamanho da antena da etiqueta, da potência irradiada e da frequência em que opera o leitor. Em 2005, o menor dispositivo disponível comercialmente media cerca de 0,4 mm², sendo mais fino que uma folha de papel, ou seja, um dispositivo praticamente imperceptível.

A grande maioria das etiquetas existentes atualmente é do tipo passiva, haja vista que

possui um custo menor. Ela geralmente tem o mínimo de funcionalidade e desempenho, transmitindo uma pequena quantidade de dados. É um dispositivo simples e barato em comparação com etiquetas ativas e semi-passivas.

Estes sistemas são mais comumente utilizados no controle de acesso de segurança, identificação dos animais, imobilizadores de veículos, controle de assiduidade, entre outros.

Como exemplo de uma etiqueta passiva, que opera em baixa frequência, cita-se a do fabricante Gao RFId Inc (GAO RFID INC, 2009). Suas principais características são:

a. Frequência de comunicação: 125 kHz
b. Capacidade: 64 bits
c. Codificação: Manchester
d. Temperatura de funcionamento: -40 ºC a 85 ºC
e. Temperatura de armazenagem: -55 ºC a 100 ºC
f. Dimensões: 85.6x53.98x1.8 mm

B. Etiquetas Semi-Passivas

As etiquetas semi-passivas são muito similares às etiquetas passivas, salvo que incorporam uma pequena bateria, a qual permite que o circuito integrado de leitura esteja constantemente alimentado. As etiquetas semi-passivas respondem mais rapidamente comparando-se com as etiquetas passivas, visto que, são mais potentes em seu raio de leitura. Elas não possuem um transmissor ativo, fato este que diferencia das etiquetas ativas.

Este tipo de etiqueta é utilizado principalmente em sistemas de tempo real para rastreamento de materiais de alto valor ou equipamentos dentro de uma fábrica. Outras aplicações das etiquetas semi-passivas podem ser a colocação de sensores para controlar a temperatura, a pressão, a umidade relativa do ar, a aceleração, a vibração, o movimento, a altitude, em determinados produtos que exigem esse monitoramento. Possuem melhor capacidade de leitura quando anexadas à materiais opacos e absorventes.

Cita-se como exemplo de uma etiqueta semi-passiva, que opera em frequência UHF, a do fabricante Gao RFId Inc (GAO RFID INC, 2009). Suas principais características são:

a. Frequência de comunicação: 860 – 960 MHZ
b. Alcance: 0-100 m
c. Protocolo: EPC *Class* 3

d. Operação: Leitura e escrita
e. Modulação: Am[1] – *Link* direto (leitor para etiqueta); Fm[2] – *link* reverso (etiqueta para leitor)
f. Dimensões: 54.4 mm x 56.38mm x 5mm

C. Etiquetas Ativas

As etiquetas ativas possuem uma fonte de alimentação própria, normalmente uma bateria e um transmissor ativo, podem atingir distâncias maiores comparando-se com as outras etiquetas citadas acima. O CI (circuito integrado) desta etiqueta contém maior poder de processamento para implementar funcionalidades adicionais tais como manipulação de dados.

As etiquetas ativas são muito utilizadas pelos sistemas de localização em tempo real. Elas podem operar nas faixas de 455 MHz e 5,8 GHz, além de possibilitar a comunicação com distâncias de 20 a 100 metros. Dentre as aplicações destas etiquetas estão o controle e monitoramento da posição de pessoas em instalações, tais como, escolas, escritórios, hospitais, centros desportivos.

Como exemplo de uma etiqueta ativa, que opera na faixa de microondas, tem-se a do fabricante Kimaldi (KIMALDI, 2009). Suas principais características são:

a. Frequência de comunicação; 2,45 GHz
b. ID: 64 bits
c. Bateria: 3v DC
d. Consumo em repouso: 3 µA @ 3v DC
e. Consumo em funcionamento: 24 mA @ 3v DC
f. Temperatura de funcionamento: -10 ºC a 55 ºC
g. Temperatura de armazenagem: -20 ºC a 65 ºC
h. Dimensões: 32,3 x 250 x 11,9 mm

As etiquetas RFId tem um vasto campo de aplicabilidade. O que as diferenciam são a forma de alimentação, o preço e a frequência de operação, sendo esta a abordada a seguir.

---

[1] *Amplitude modulated* ou Amplitude modulada

[2] *Frequency modulated* ou Frequência modulada

2.3.1.2 Frequência das Etiquetas

As etiquetas RFId também podem ser classificadas de acordo com a frequência em que são concebidas para funcionar. São quatro as principais faixas de frequências atribuídas por várias autoridades governamentais para o uso de sistemas RFId, são elas:

a. Baixa frequência (BF)
b. Alta frequência (HF)
c. Ultra alta frequência (UHF)
d. Microondas frequência (microondas)

As faixas UHF e Microondas são partes da banda de frequência chamada Industrial, Científica e Médica (ISM) de rádio e de bandas que foram inicialmente reservadas para uso não comercial. Dependendo do uso, as etiquetas RFId são projetadas para operar em qualquer uma destas faixas.

A Figura 7 ilustra a largura de banda das três faixas de frequência mais utilizadas na categoria ISM.

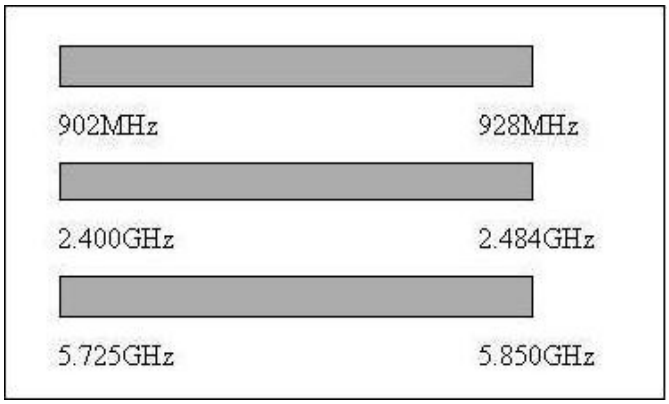

Figura 7: Faixa de frequência ISM.

a) Etiquetas de baixa frequência ou *Low Frequency* (LF)

O range de baixa frequência inclui frequências de 30 kHz -300 kHz, sendo a frequência de 125 kHz a mais utilizada em sistemas RFId. Embora existam aplicações que utilizam a frequência de 134 kHz. A frequência de 125 kHz foi usada em etiquetas RFId para

rastreamento dos animais desde 1979. As etiquetas passivas que operam em baixa frequência não possuem bateria e possuem um curto alcance de leitura, podendo este ser de até 1,5 m (ACURA SECURITY, 2009).

As etiquetas LF possuem a mais baixa taxa de transferência de dados entre todas as frequências usadas em RFId e geralmente são usadas para armazenar uma pequena quantidade de dados. Elas são usadas em controle de acesso, monitoramento ativo, identificação de animais, controle de automóveis, imobilizadores de veículos, na saúde e várias outras aplicações. A indústria automobilística tem usado este tipo de etiqueta em sistemas de ignição de um automóvel. A etiqueta é embutida na chave de ignição e o leitor RFId posicionado junto ao sistema de partida do veículo. Assim, quando o devido código é enviado para o leitor, o automóvel dá a partida no motor.

b) Etiquetas de alta frequência ou *High Frequency* (HF)

O range de alta frequência inclui frequências de 3 MHz a 30 MHz, mas apenas uma frequência, 13,56 MHz, é utilizada para as aplicações RFId. Esta frequência está disponível para aplicações RFId no mundo inteiro com o mesmo nível de potência. Denominam-se etiquetas HF e leitores HF, as etiquetas e leitores usados nesta faixa de frequência. As etiquetas HF geralmente são etiquetas passivas, e tem alcance de leitura de até 1,5 metros. Algumas etiquetas HF podem armazenar até 4K de dados.

As principais aplicações das etiquetas HF incluem cartões de crédito, cartões inteligentes, livros, bagagem aérea, bibliotecas, passaportes eletrônicos (e-passaportes). Devido à inexistência de restrições sobre o uso de HF e da popularidade dos cartões inteligentes, as etiquetas HF são atualmente as mais utilizadas em todo o mundo.

c) Etiquetas de frequência ultra alta ou *Ultra High Frequency* (UHF)

O range de frequência ultra alta inclui frequências de 300 MHz a 1000 MHz, mas apenas duas faixas de frequência, 433 MHz e 860 MHz-960 MHz, são utilizadas para aplicações RFId. A frequência de 433 MHz é utilizada para etiquetas ativas, enquanto que a frequência de 860 MHz-960 MHz é utilizada, principalmente, para etiquetas passivas e em alguns casos, etiquetas semi-passivas. A faixa de frequência 860 MHz – 960 MHz é frequentemente

referida por uma única frequência de 900 MHz ou de 915 MHz. Etiquetas e leitores nesta faixa são chamados etiquetas UHF e leitores UHF.

Todos os protocolos na faixa UHF oferecem capacidade anti-colisão, permitindo várias etiquetas sejam lidas simultaneamente. O novo protocolo da 2ª geração (Gen 2) de etiquetas UHF foi projetado para leitura de centenas de etiquetas por segundo.

d) Etiquetas que operam na Faixa de Microondas *(microwave-frequency, MW)*

A faixa de frequências de microondas inclui frequências de 1 GHz a 10 GHz, sendo duas faixas de frequência, em torno de 2,45 GHz e 5,8 GHz, utilizadas para aplicações RFId. Mas, a maioria das etiquetas operam na frequência 2,45 GHz. As etiquetas de microondas estão disponíveis nas formas passiva, semi-passiva e ativa.

Etiquetas passivas, que operam na faixa de microondas, são mais caras que as etiquetas passivas UHF, mas compartilham as mesmas vantagens e desvantagens. As etiquetas de microondas são menos comuns no mercado do que as etiquetas UHF, sendo o Japão o seu maior consumidor.

As etiquetas semi-passivas, que operam na faixa de microondas, são usadas no controle de acessos de longo alcance para veículos, identificação da frota, e coleta de pedágios em rodovias. Enquanto que as etiquetas ativas, que operam nesta faixa, são usadas para os sistemas de localização tempo real.

A Tabela 2.1 apresenta um resumo das etiquetas RFId, diferenciando-as por sua faixa de frequência. Ela apresenta um comparativo das principais características de um sistema RFId.

Tabela 2.1: Resumo das faixas de freqüência de operação do RFId e suas características.

	Baixa Frequência (LF)	**Alta Frequência (HF)**	**Ultra Alta Frequência (UHF)**	**Microondas (MW)**
Faixa de frequência	30–300kHz	3–30MHz	300 MHz–3GHz	2–30 GHz
Frequência típica de trabalho	125–134 kHz	13.56 MHz	433 MHz ou 865 – 956MHz até 2.45 GHz	2.45 GHz
Raio aproximado de alcance	até 1,5 m	Até 1,5m	433 MHz = até 100m 865- 956 MHz = de 0,5m até 5m	A partir de 10m
Taxa de transferência de dados	menos de 1kbps	Aproximadamente 25 kbps	433–956 MHz = 30 kbps 2,45 GHz = 100 kbps	Até 100 kbps
Características	Curto alcance; Baixa taxa de transferência; Penetra líquidos, mas não metal	Maior alcance; Taxa de transferência razoável (equivalente a um telefone GSM); Penetra líquidos, mas não metal	Alto alcance; Alta taxa de transferência de dados; Leitura simultânea de até 100 itens; Não penetra líquidos nem metais	Alto alcance; Alta taxa de transferência de dados; Leitura simultânea de até 100 itens; Não penetra líquidos nem metais
Usos típicos	Identificação de animais	Etiquetas de preço inteligentes; Cartões de acesso/segurança	Rastreamento especial de animais; Logística	Sistema de pedágio

A frequência das etiquetas em que um sistema RFId opera possibilita um maior ou menor raio de alcance assim como seu uso. A seguir será abordado a capacidade de armazenamento de dados de uma etiqueta RFId.

2.3.1.3 Classes das Etiquetas

Outra forma de classificação das etiquetas de RFId é estabelecendo categorias através da sua capacidade de ler e escrever dados. Estas categorias são divididas em 5 classes, descritas a seguir (NISHIDA, 2009):

Classe 0 – *Read Only* – Somente Leitura - Programado de Fábrica

Esta classe envolve os tipos mais simples de etiquetas, onde os dados são escritos apenas uma vez durante o processo de construção da etiqueta. A memória é então desabilitada para qualquer possível atualização futura. A Classe 0 é também utilizada para definir uma categoria de etiquetas conhecida como EAS (Monitoramento Eletrônico de Artigos de Lojas, *Electronic Article Surveillance*) ou dispositivo anti-roubo, que não possuem ID e apenas anunciam sua presença quando passam através do raio de alcance da antena.

Classe 1 – *Write Once Read Only* (WORM) – Escritas somente uma vez - Programada de Fábrica ou por Usuário

Neste caso, a etiqueta é fabricada sem conteúdo de dados em sua memória. Os dados podem ser escritos pelo fabricante ou pelo usuário, porém, apenas uma vez. Depois disso, nenhuma escrita futura é permitida e a etiqueta poderá apenas ser lida. As etiquetas deste tipo atuam como identificadores.

Classe 2 – *Read Write* - De leitura/gravação

É o tipo mais flexível de etiquetas RFId, permitindo aos usuários ler e escrever dados na memória. Elas são tipicamente utilizadas como registradores de dados, contendo mais espaço de memória, comparando-se com uma etiqueta que apenas armazena um número identificador.

Classe 3 – *Read Write* – Com sensores *on-board* (incluso)

Estas etiquetas contêm sensores *on-board* para gravar alguns parâmetros, tais como, temperatura, pressão e movimento, os quais podem ser armazenados na memória da etiqueta. Como a leitura do sensor deve ser feita na ausência de um leitor, as etiquetas desta classe são, semi-passivas ou ativas.

Classe 4 – *Read Write* – Com transmissores integrados

Estas etiquetas funcionam como dispositivos de rádio em miniatura, as quais podem se comunicar com outras etiquetas e dispositivos sem a presença de um leitor. Isso significa que elas são ativas, com sua própria fonte de alimentação.

2.3.2 Protocolos

O papel do EPCglobal[3] é proporcionar o desenvolvimento da indústria, impulsionando a criação de normas para o EPC (Código Eletrônico do Produto, *Electronic Product Code*), visando apoiar a utilização da Identificação por Radio frequência (RFId), a qual encontra-se hoje em ampla expansão em todos os Continentes (EPCGLOBAL, 2009).

Os protocolos são a definição e a gramática da linguagem utilizada pelo leitor e pelas etiquetas para se comunicarem uns com os outros. O leitor e a etiqueta devem usar o mesmo protocolo para se comunicar (MORERFID, 2009). Ele pode ter capacidade multi-protocolo, mas usa apenas um protocolo por vez. Tipicamente, um leitor multi-protocolo está definido com um único protocolo, ou pode percorrer diversos protocolos um por um. Podemos comparar esta funcionalidade com alguém que fala diversas línguas, mas possui sua língua de origem para se comunicar.

Protocolos podem ser concebidos por um fabricante ou por uma organização normatizadora. Os protocolos projetados pelos fabricantes são geralmente protocolos proprietários e podem não estar disponíveis a todos os fabricantes. Protocolos padrões projetados por uma organização são chamados protocolos abertos e estão disponíveis em igualdade de condições a todos os fabricantes. Por este motivo, é sempre bom comprar equipamentos que usam um protocolo aberto e popular, o qual aumenta a disponibilidade e a

[3] EPCglobal é uma organização sem fins lucrativos que foi criada para administrar e fomentar o desenvolvimento da tecnologia RFId que teve início com a iniciativa do AutoId Center.

compatibilidade do equipamento e ajuda a proteger o seu investimento.

Exemplos de protocolos proprietários utilizados no RFId incluem Philips I-Code, TI Tag-It, Alien EPC Classe 1, Matrics EPC Classe 0, e Intermec IntelliTag. Exemplos de protocolos abertos utilizados no RFId são ISO 14443 (A/B), ISO 15693, ISO 18000-6 (A/B), e EPCglobal Class 1 Gen 2.

2.3.3 Leitor ou *Transceiver*

O Leitor de RFId, também conhecido como *transceiver* (transceptor), é um decodificador composto de um conversor, que pode ser analógico ou digital, e um oscilador. Ele controla a comunicação de rádio e decodifica as informações transmitidas pelas etiquetas. Um leitor RFId é, em essência, um rádio transceptor composto por um transmissor e receptor, os quais trabalham juntos para se comunicar com a etiqueta (DOBLIN, 2008). As principais características de um transmissor são: precisão, eficiência, baixo nível de radiação espúria e flexibilidade, as quais permitirão que o transmissor opere de tal forma que garanta os requisitos mínimos necessários para que o sinal seja decodificado no receptor.

Basicamente as partes que compõe um leitor podem ser divididas em duas partes: componentes físicos e componentes lógicos (GLOVER, 2007).

Os principais componentes físicos de um leitor RFId são: antena, controlador e interface de rede. A antena serve para realizar o acoplamento da energia de RF entre o transmissor e o receptor, ou seja, entre o leitor e a etiqueta. A interface de rede serve para interligar o leitor com outros dispositivos. Os leitores se comunicam com a rede e com outros dispositivos através de uma variedade de interfaces. A maioria dos leitores RFId têm tido interfaces seriais usando RS 232 ou RS 422 (ponto a ponto, par trançado) ou RS 485 (endereçável, par trançado). Nos últimos anos, cada vez mais leitores têm suportado Ethernet, Bluetooth e ZigBee (GLOVER, 2007).

Os principais componentes lógicos de um leitor RFId são: API do leitor, subsistema de comunicações, subsistema de gerenciamento de eventos e subsistema da antena. A API (Interface de programação de aplicativos, *Application Programming Interface*) permite que outras aplicações solicitem inventários das etiquetas, monitorem a situação do leitor ou controlem as configurações como níveis de energia e o tempo corrente. A API é responsável pela criação de mensagens para enviar para o *middleware* RFId e com a análise de mensagens recebidas do *middleware*. Ela pode ser síncrona ou assíncrona. O subsistema de comunicação

lida com os detalhes da comunicação sobre qualquer protocolo de transporte que o leitor possa usar para se comunicar com o *middleware*. Este é o componente que implementa Bluetooth, Ethernet ou um protocolo proprietário para enviar e receber as mensagens que constituem a API. Para compreender o subsistema gerenciamento de eventos e necessário compreender que quando um leitor "vê" uma etiqueta, isto é chamado de uma "observação". Uma observação que difira das observações anteriores é chamada de um "evento". A separação destes eventos é chamada de "filtragem de eventos". O subsistema de gerenciamento de eventos define os tipos de observações que são consideradas eventos e quais eventos são considerados suficientemente interessantes para serem colocados em um relatório ou enviados imediatamente para uma aplicação externa na rede. O subsistema da antena consiste da interface e da lógica que permite aos leitores RFId interrogar as etiquetas RFId e controlar as antenas físicas (GLOVER, 2007).

A Figura 8 ilustra duas formas do leitor operar: o modo biestático e monoestático. No caso do biestático ele irá utilizar duas antenas, o que envolve custos adicionais, tamanho e complexidade. Ao utilizar uma única antena, modo monoestático, torna o leitor mais simples e com menor custo, mas sendo mais rigoroso quanto ao sincronismo.

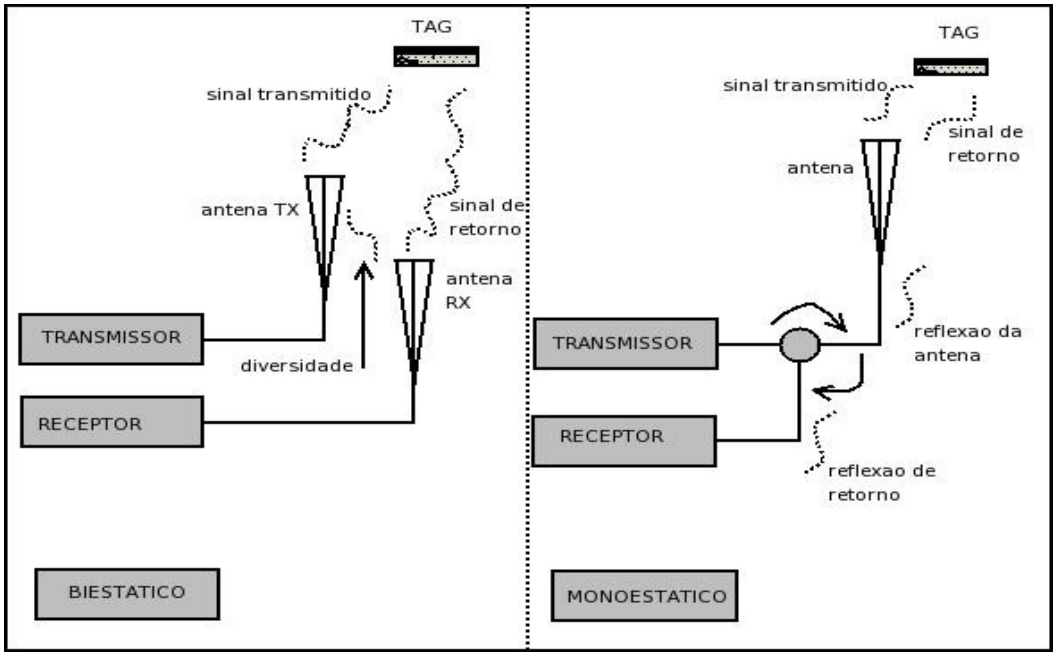

Figura 8: Forma do leitor de RFId operar.

Fonte: (Doblin, 2008)

2.3.4 Antena

As antenas podem ser classificadas em dois grupos principais quanto a sua forma de radiação: direcional e omnidireccional (AHSON, 2008). Existem três elementos-chave que envolvem os aspectos físicos das antenas: ganho da antena, coeficientes de reflexão e polarização. A maioria das antenas que operam em UHF possui uma pequena dimensão física e tende a ter um ganho em torno de 1,76 dBi. A escolha de uma antena de RFId consiste principalmente do seu tipo, da impedância da entrada, da polarização, do desempenho de RF quando aplicada ao objeto e da sua degradação de desempenho devido ao que estiver ao seu redor (CURTY, 2007).

A Tabela 2.2 (CURTY, 2007) mostra os principais tipos de antenas que podem ser utilizadas em uma aplicação RFId:

Tabela 2.2: Possíveis antenas para uso em sistemas RFId.

Antena	**Radiação Padrão**	**Largura de Banda (% freq.)**	**Impedância (Ω)**
λ / 2 Dipolo de meia onda	Omnidirecional	10-15	73
λ – Dipolo	Omnidirecional	10-15	200
Dipolo Dupla	Omnidirecional	15-20	300
Painel	Direcional	2-3	30-100

Na Figura 9 é apresentado o modelo elétrico de uma antena dipolo e de uma antena painel, sendo que o circuito em série representa uma antena dipolo e o circuito em paralelo representa uma antena painel.

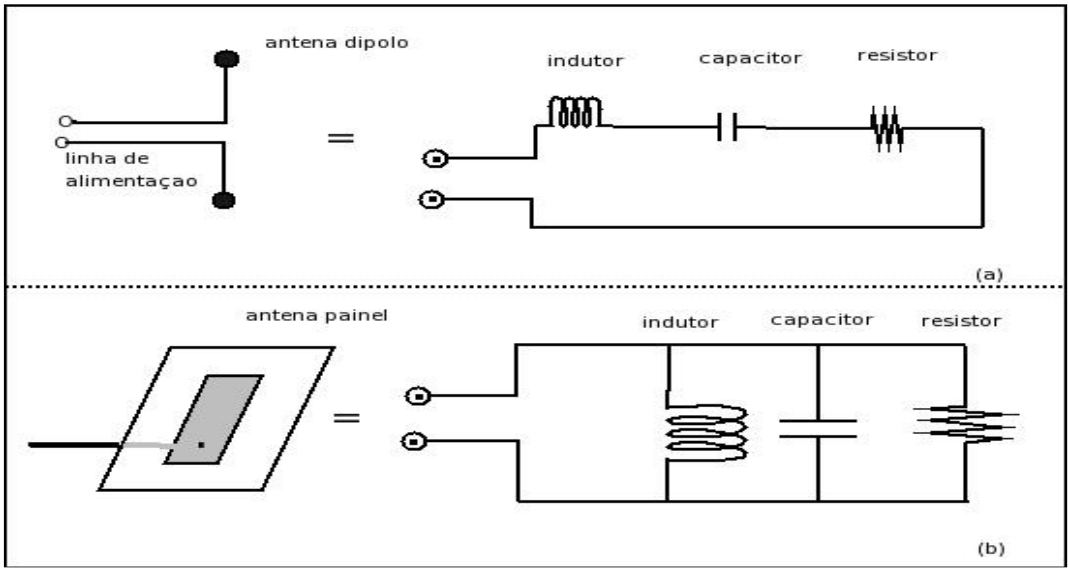

Figura 9: Circuito equivalente de antenas. (a): Antena Dipolo; (b) Antena Painel.

Fonte: (Doblin, 2008)

2.3.5 Middleware

O *middleware* realiza a gerência dos dados capturados pelo leitor e também permite a integração do sistema que envolve a tecnologia RFId com sistemas externos como, por exemplo, um ERP[4], ou seja, o *middleware* faz a integração entre diversos leitores e sistemas existentes. Em suma, o *middleware* recebe os dados capturados pelo leitor e altera estes dados para que sejam lidos por um outro sistema qualquer, que necessitam dos dados contidos na etiqueta. Assim, *middleware* é um software que integra o fluxo de dados entre as etiquetas e o sistema que solicita as informações desta etiqueta. Existem softwares na internet que podem ser usados como *middleware*, como é o caso do RFId Anywhere (ANYWHERE, 2009) e Sun RFId Middleware (SUN, 2009).

Toda etiqueta eletrônica ativa, passiva ou semi-passiva possui um número de série único, que é conhecido como EPC (Código Eletrônico do Produto, *Electronic Product Code*). O EPC é definido conforme a padronização estabelecida pelo MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts, *Massachussets Institute of Technology*), conjuntamente com a EAN (Número de Artigo Internacional, *European Article Number*), e com o UCC (Código Comercial Uniforme, *Uniform Commercial Code*), de maneira que ele nunca se repita e que cada

[4] **ERP** (***Enterprise Resource Planning***) ou **SIGE** (***Sistemas Integrados de Gestão Empresarial***, no Brasil). É uma plataforma de software desenvolvida para integrar os diversos departamentos de uma empresa, possibilitando a automação e armazenamento de todas as informações de negócios.

etiqueta possa ser identificada em qualquer lugar do mundo (ROSA, 2006).

2.4 Funcionamento do RFId

Os princípios de funcionamento da tecnologia RFId são a radiação eletromagnética e o efeito de ressonância. Define-se a radiação eletromagnética como sendo ondas de energia elétrica e magnética que são irradiadas juntas através do espaço e, entende-se por radiação, a propagação de energia através do espaço na forma de ondas ou de partículas (VIERA, 2009).

O espectro de onda eletromagnético chamado de Radiofrequência está compreendido entre as frequências de 3 kHz a 300 GHz, e as frequências são utilizadas por estações de rádio, televisores, celulares, microondas, entre outros. Os sistemas RFId estão dentro deste espectro de frequência nos intervalos definidos na seção 2.3.1.

Outro princípio físico utilizado na tecnologia RFId é o efeito de ressonância. Quando um sinal de rádio com qualquer frequência produz uma corrente com a mesma frequência no circuito do receptor (etiqueta RFId), porém a amplitude da corrente atinge seu valor máximo quando a frequência do sinal é igual à frequência para a qual o circuito receptor se encontra sintonizado, chamando-se esse efeito de ressonância.

A comunicação de dados entre uma etiqueta RFID e um leitor pode se dar de duas maneiras, as quais podem ser: acoplamento indutivo ou acoplamento radiativo. A Figura 10 mostra a indicação da frequência utilizada através do acoplamento indutivo e do radiativo. A transmissão por indução ocorre na faixa de frequência até 100 MHz enquanto que a transmissão por radiação ocorre na faixa acima de 100 MHz até 10 GHz.

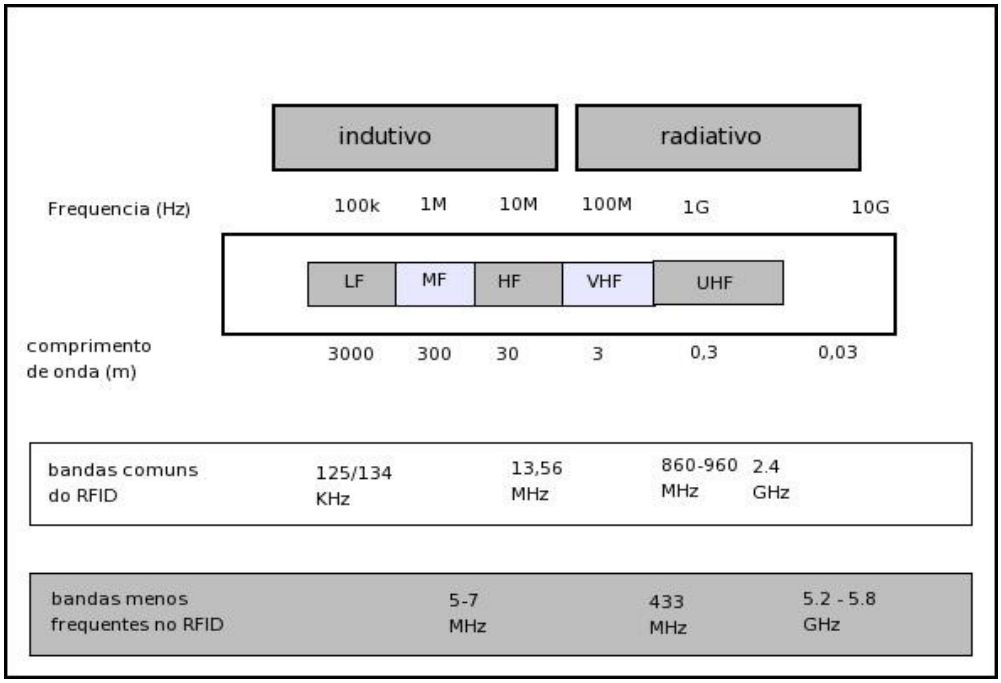

Figura 10: Banda de frequência do RFId.

Fonte: (Doblin, 2008)

O acoplamento indutivo, também chamado de acoplamento magnético, baseia-se no princípio da proximidade eletromagnética e necessita que a área da etiqueta em "contato magnético" seja máxima, ou seja, o fluxo eletromagnético deve fluir por toda a bobina "antena" da etiqueta, caso contrário esta não recebe energia suficiente para entrar em operação.

O acoplamento radiativo ou via radiofrequência (RF) se caracteriza pela propagação de ondas eletromagnéticas em todas as direções. Isto implica que não é necessária que a etiqueta seja posicionada de uma maneira definida para que esta entre em operação. É necessário apenas que entre na zona de atuação do leitor. Este modo de acoplamento é mais complexo que o anterior, mas garante funcionalidade a uma distância maior. Este alcance é diretamente dependente da eficiência da etiqueta no que diz respeito à forma como a energia é disponibilizada ao seu circuito: caso seja passiva, a energia útil da etiqueta será aquela retirada do sinal de RF; caso seja ativa, a energia que será utilizada para o envio do sinal de resposta virá de uma bateria adicional.

A Figura 11a ilustra um acoplamento indutivo com frequência de 13,56 MHz e com uma antena de 50 cm de diâmetro. A Figura 11b é mostra um acoplamento radiativo com frequência de 900 MHz, com o tempo de atraso e a potência associados. Neste tipo de

acoplamento, é usada a indução de corrente em um enrolamento como um meio de transferir dados ou energia.

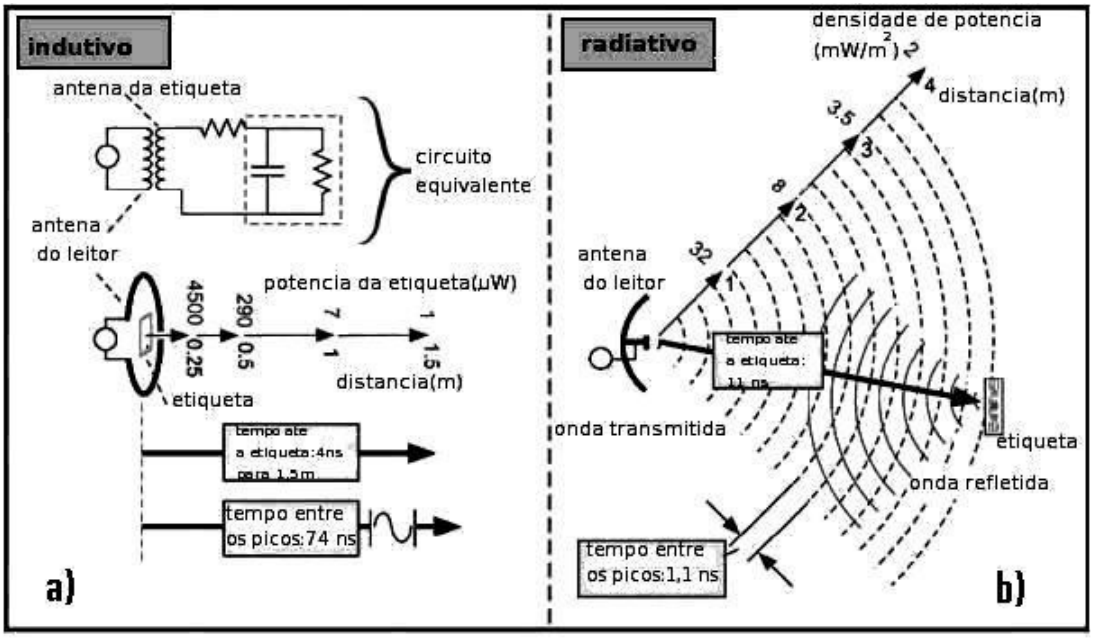

Figura 11: Acoplamento indutivo versus acoplamento radiativo.
Fonte: (Doblin, 2008)

No acoplamento indutivo, entre o leitor e etiqueta, o sinal cai rapidamente à medida que a etiqueta se afasta do leitor. Os sistemas que operam até 1 m utilizam acoplamento indutivo (CURTY, 2007). Pelo menos 90% de todos os sistemas RFId adquiridos são deste tipo. Etiquetas que se comunicam através do acoplamento indutivo são quase sempre exploradas em modo passivo. Isto significa que toda a energia necessária para o funcionamento do micro-chip é fornecido pelo leitor.

2.5 Regulamentação RFId

O ETSI 302 208 é uma norma Européia que regulamenta a operação dos leitores de RFId UHF (ETSI, 2006). Aloca a faixa de frequência de 865-868 MHz para a distribuição de RFId. Esta faixa de frequência é dividida em 15 sub-bandas ou canais, cada uma mede um total de 200 kHz (AHSON, 2008).

O FCC (Comissão Federal das Comunicações, *Federal Communications Commission*) dos EUA, Título 47 Parte 15.247, opera dentro da faixa 902-928 MHz, utiliza a técnica de salto de espalhamento espectral por saltos em frequências (FHSS). Este é um método de

transmissão de sinais de rádio por uma rápida mudança na frequência da portadora entre os canais, utilizando uma seqüência pseudo-aleatória conhecida pelos transmissor e receptor.

O Brasil utiliza as faixas de frequências entre 902-907,5 MHz e 915-928 MHz utilizando a técnica FHSS com 4W eirp (potência isotrópica efetivamente irradiada, *Effective isotropicallly radiated power*) (EPCGLOBAL, 2009).

As etiquetas RFId de baixa frequência (LF) e de alta frequência (HF) podem ser utilizadas de forma global sem necessidade de licença (PORTAL INDUSTRIAL, 2009).

A Tabela 2.3 (AHSON, 2008) mostra a frequência de operação do RFId UHF em algumas regiões do mundo.

Tabela 2.3: Regulamento da alocação de frequência na banda UHF RFId para uso em algumas das principais regiões geográficas do mundo.

Região	**Frequência (MHz)**	**Largura de Banda (MHz)**
Europa	865-868	3
Estados Unidos	902-928	26
Japão	952-954	2
Austrália	918-926	8
Brasil	902-907,5 915-928	5,5 13

2.5.1 Principais normas ISO referentes ao RFId

Existem muitas organizações envolvidas nos projetos de tecnologias RFId, trabalhando em conjunto com vários fabricantes e estudiosos da tecnologia a fim de padronizar protocolos e regras de utilização. Entre as principais organizações e padrões da tecnologia RFId, tem-se *a International Organization for Standardization* (ISO), uma organização internacional de normatização que engloba 148 países. A ISO aprova normas internacionais em todos os campos técnicos, exceto na eletricidade e eletrônica, áreas sob a responsabilidade *do International Engineering Consortium* (IEC). A principal norma ISO referente ao RFId para baixa frequência (LF) é a ISO 18.000-2 conforme mostra a tabela abaixo.

A Tabela 2.4 a seguir apresenta a relação de padrões publicados pela ISO (RMOROZ, 2009).

Tabela 2.4: Resumo das principais normas ISO.

ISO Standard	Título	Status
ISO 11784	RFId para animais – estrutura de código	Padrão Publicado - 1996
ISO 11785	RFId para animais – concepção técnica	Padrão Publicado - 1996
ISO/IEC 14443	Identificação de cartões – cartões com circuitos integrados sem contato – cartões de proximidade	Padrão Publicado – 2000
ISO/IEC 15693	Identificação de cartões – cartões com circuitos integrados sem contato – cartões de vizinhança	Padrão Publicado – 2000
ISO/IEC 18001	Tecnologia da Informação – Gerenciamento de Itens de RFId – Perfil de Requisitos de Aplicação	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 18000-1	Parâmetros Gerais para Comunicação por Interface por Ar para Freqüências Globalmente Aceitas	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 18000-2	Parâmetros para Comunicação por Interface por Ar abaixo de 135 KHz	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 18000-3	Parâmetros para Comunicação por Interface por Ar em 13,56 MHz	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 18000-4	Parâmetros para Comunicação por Interface por Ar em 2,45 GHz	Padrão Publicado – 2008
ISO/IEC 18000-6	Parâmetros para Comunicação por Interface por Ar em 860 a 930 MHz	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 18000-6	Interface aérea para 433,92 MHz	Padrão Publicado - 2007
ISO/IEC 15961	Gerenciamento de Itens de RFId – Protocolo de Dados: Interface de Aplicação	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 15962	Gerenciamento de Itens de RFId – Protocolo: Regras de Codificação de Dados e Funções de Memória Lógica	Padrão Publicado – 2004
ISO/IEC 15963	Gerenciamento de Itens de RFId – Identificação única do RF Tag	Padrão Publicado – 2004

Fonte: Adaptado de Understanding RFId (Passive RFId) – R. Moroz Ltda.

3 *Descrição do algoritmo*

A seguir será explicado como funciona o algoritmo do sistema proposto, visando dar um melhor entendimento dos modelos e cenários que serão criados nos Capítulos 4 e 5. Este algoritmo descreve um software e um hardware que controlam a aplicação de monitoramento de atividades de natação, chamado de *middleware*.

É necessário disponibilizar algumas interfaces de comunicação, podendo ser interface de Rede, RS-232, RS-485, wireless Bluetooth ou USB (GAO RFID INC, 2009).

Os principais itens que compõem o sistema são:

a) Leitor: ativa a etiqueta e realiza a leitura do ID (Identificação) contido nela;

b) Etiqueta: possui armazenado o ID do nadador;

c) Unidade de Processamento do Aplicativo (UPA): realiza o processamento das informações;

d) Memória: realiza o armazenamento temporário dos resultados;

e) Teclado: utilizado para a configuração do sistema;

f) Monitor: permite a visualização dos resultados;

g) Interface com o leitor: realiza a interligação entre o processador e o leitor permitindo assim a comunicação entre estes componentes de hardware.

h) Interface de Rede: permite acompanhar o treino em tempo real pela internet; possibilita o envio dos resultados de cada treino do atleta para seu e-mail; possibilita um gerenciamento remoto do sistema;

i) Interface USB: permite ao atleta salvar os dados de seu treino em um HD *(Hard Disk)* externo ou em um pen drive.

Os itens da letra c até a letra i referem-se a itens que compõe o *middleware*.

Através dos diagramas apresentados a seguir, é possível ter uma melhor compreensão sobre como ocorre à troca de mensagens entre a etiqueta, o leitor e a UPA.

A Figura 12 apresenta um diagrama que ilustra a comunicação entre o leitor, a etiqueta e

a unidade de processamento do aplicativo (UPA). A área tracejada representa a área de cobertura do leitor. Também é possível visualizar as interfaces de comunicação.

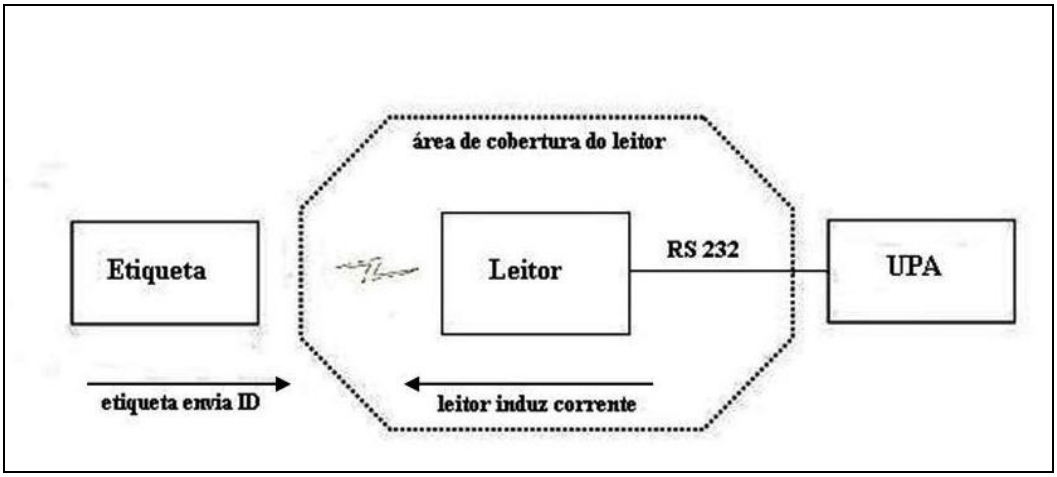

Figura 12: Diagrama que ilustra a comunicação entre o leitor, a etiqueta e a UPA.

A comunicação entre a etiqueta e o leitor ocorre através de RF, neste projeto é utilizado a frequência LF, porque o sinal tem maior poder de propagação, para a troca de mensagens. Através da interface aérea ocorre o envio de dados entre a etiqueta e o leitor.

Uma das interfaces de comunicações entre o leitor e a UPA ocorre através da interface RS-232, conforme ilustra a Figura 12. Além desta, outras interfaces de comunicação também são encontradas em sistemas de RFId, tais como RS-485 e a *Wiegand*. Todas são interfaces de comunicação serial.

A etiqueta utilizada neste projeto é do tipo passiva, quando ela entra na área de cobertura do leitor é ativada, e envia um número de identificação da etiqueta chamado ID para o leitor. Este é um número binário, normalmente representado na forma hexadecimal.

A Figura 13 mostra através de um diagrama de blocos os passos que ocorrem na transmissão dos dados entre a etiqueta e o leitor, considerando que o nadador está completando uma volta na piscina.

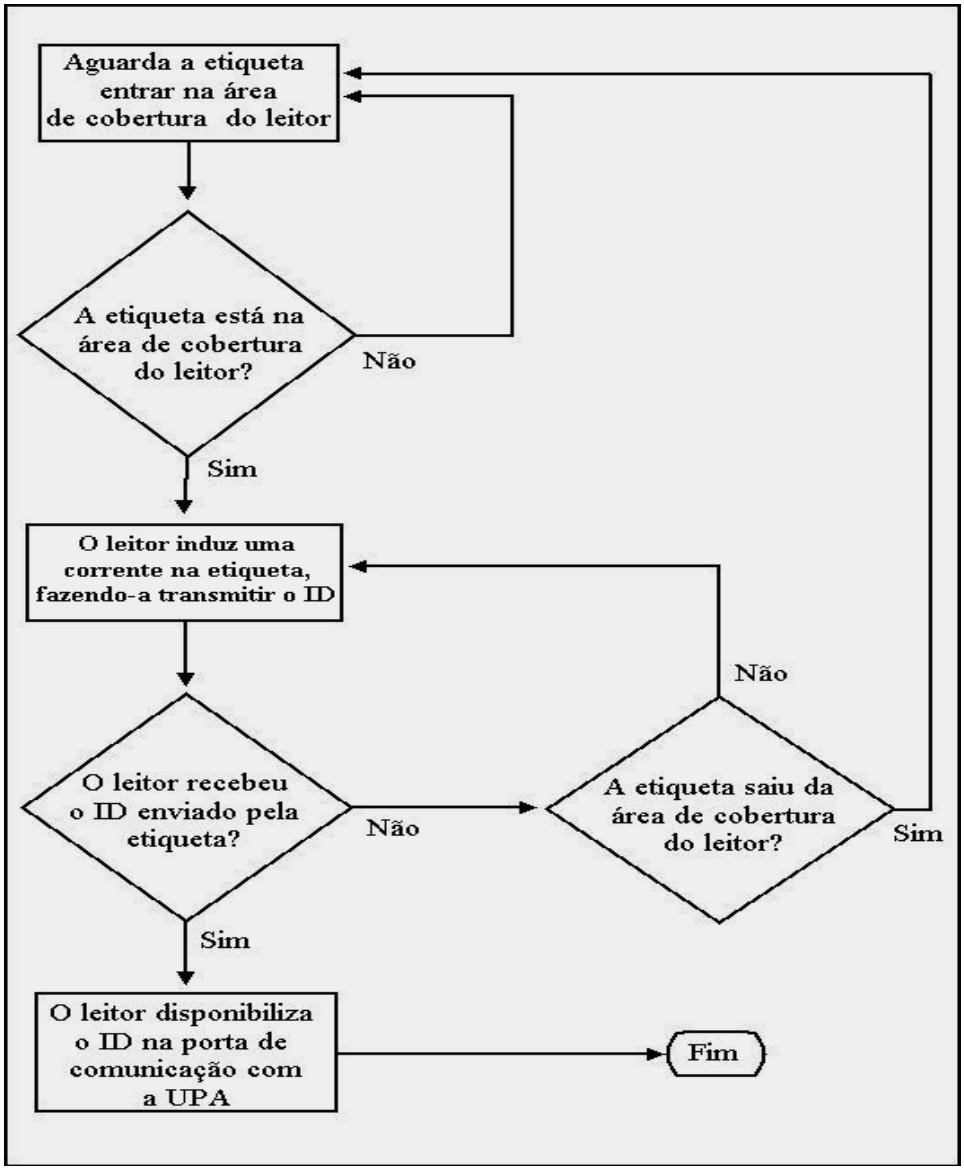

Figura 13: Diagrama que ilustra a comunicação entre a etiqueta e o leitor.

De acordo com a Figura 13, o leitor aguarda a etiqueta entrar na área de cobertura, para que o mesmo induza uma corrente na etiqueta, fazendo-a transmitir o ID (número de 8-64 bits, por exemplo) para o leitor. Caso o leitor não receba o ID enviado pela etiqueta e a mesma ainda estiver na área de cobertura, isto significa que ainda há ação do campo eletromagnético (EM) induzindo uma corrente na etiqueta, porém, à medida que esta se aproxima do leitor, maior é o campo (EM) e maior será a corrente induzida, portanto, maior será o alcance do sinal. Se o leitor recebeu os dados enviados pela etiqueta, ele irá disponibilizá-los na porta de comunicação com a UPA.

O aplicativo via porta serial estará constantemente lendo os dados que são registrados no

leitor. Quando o leitor disponibiliza o ID na porta de comunicação com a UPA, o aplicativo captura os dados e realiza o tratamento destes dados, o que será demonstrado na próxima figura.

A Figura 14 mostra através de um diagrama de blocos os passos que ocorrem na transmissão dos dados entre o leitor e UPA, considerando uma volta do nadador na piscina.

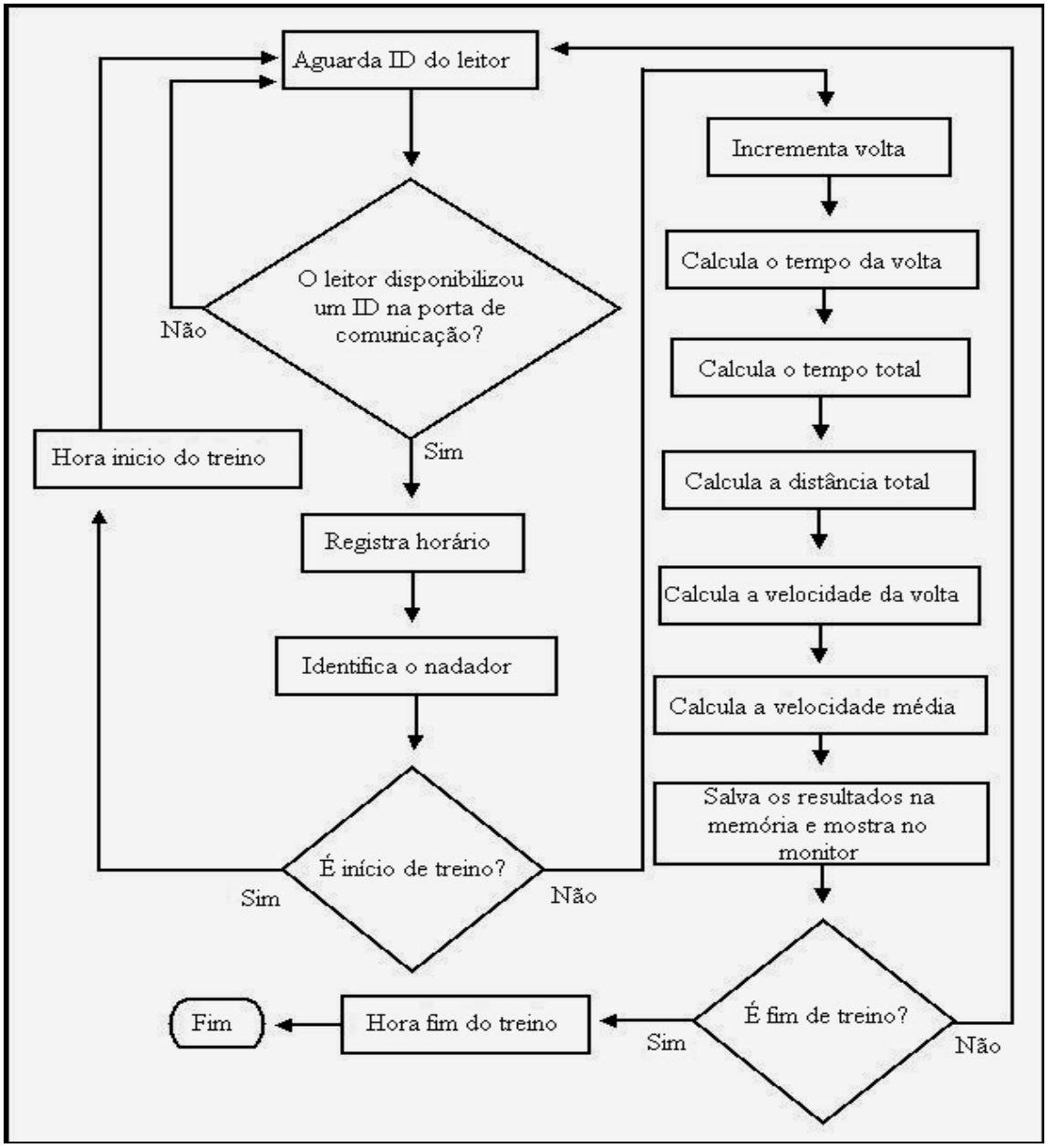

Figura 14: Diagrama que mostra o algoritmo do sistema proposto.

A Figura 14 mostra que após a UPA receber o ID do leitor, ela irá registrar o horário e identificar o nadador. O processo de registrar o horário basicamente será a identificação do

horário do início da volta, horário do início do treino, horário do fim da volta e horário do fim do treino, realizando a medida relativa do tempo por volta e tempo do treino. A identificação do nadador irá ocorrer caso este tenha seus dados pré-cadastrados em um banco de dados que irá alimentar o sistema conforme mostra a Figura 15. Neste exemplo, considera-se que o nadador possui seus dados pré-cadastrados no banco de dados. Após identificar o nadador o aplicativo irá analisar se esta é a primeira leitura do treino, se a resposta for positiva, o aplicativo retorna a aguardar o ID do leitor, pois esta foi a largada para o início do treino. Se a resposta for negativa o aplicativo irá incrementar a contagem de voltas, calcular o tempo da volta, calcular o tempo total, calcular a distância total, calcular a velocidade da volta e a velocidade média. Também irá salvar na memória os resultados e mostrar no monitor. Após estas etapas, o aplicativo irá analisar se é o fim do treino, caso a resposta seja negativa ele irá retornar ao estado de aguardando ID do leitor, e se for positiva, ele será encerrado.

Quando o leitor é acionado pela primeira vez durante o treino, ele envia a UPA o ID do atleta, permitindo que o sistema registre o horário do início do treino e horário do início da volta. A partir da segunda leitura, registra-se o horário do fim da volta, que será também o horário do início da próxima volta.

Os cálculos são realizados da seguinte forma: A partir da UPA receber o ID do atleta, ela calcula o tempo da última volta com base no horário do início e fim da volta. O cálculo do tempo total do treino é realizado com base no horário do início e término do treino. O cálculo da distância total é realizado com base no comprimento da piscina e no número de voltas realizadas pelo nadador. O cálculo da velocidade da última volta é realizado com base no comprimento da piscina e o tempo da última volta. Finalmente, o cálculo da velocidade média é baseado no tempo total do treino e distância total percorrida.

A Figura 15 mostra a estrutura do aplicativo para o sistema proposto, considerando que este lê o ID do leitor e identifica o nadador com o respectivo ID lido.

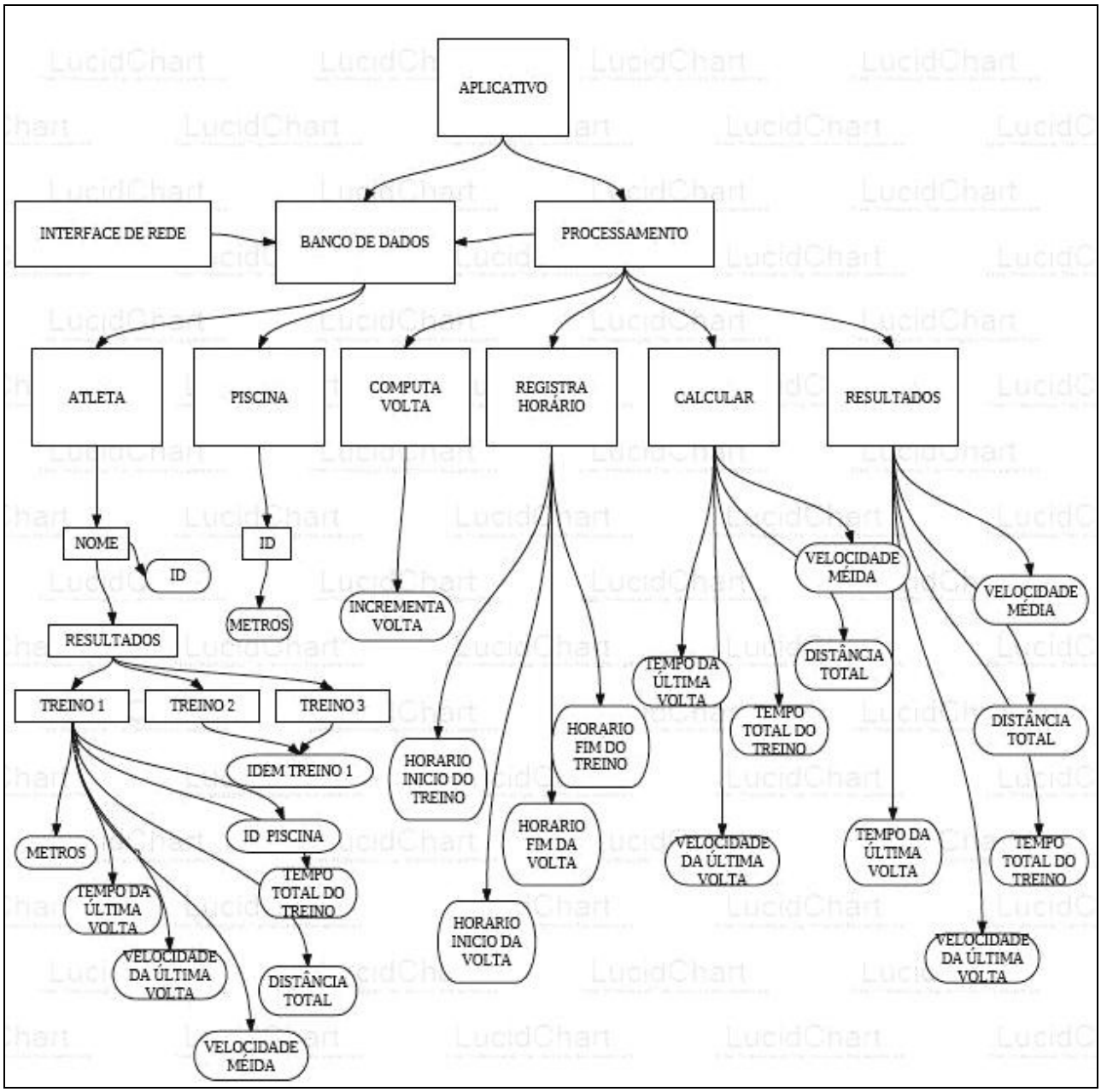

Figura 15: Diagrama que mostra a estrutura do sistema proposto.

O aplicativo apresentado possui vários processos, sendo os principais: a interface de rede, o banco de dados e o processamento. Os processos atleta e piscina estão inseridos na hierarquia banco de dados. Os processos: computa volta, registra horário, calcular e resultados, estão inseridos dentro de uma hierarquia chamada processamento. À medida que aumenta o número de leitores para o aplicativo controlar, consequentemente irá aumentar o número de processos do aplicativo. O ID recebido pelo leitor é lido pela UPA que irá

processar os dados, armazenar no banco de dados, os quais serão transmitidos via interface de rede quando solicitados, esta hierarquia será discutida com mais detalhes a seguir.

Através da interface de rede é possível acessar remotamente os resultados dos treinos realizados pelo atleta, fato este que permite que nadadores e treinadores acompanhem o desempenho dos treinos, em tempo real ou recuperado, pela internet. Este recurso poderá trazer um grande benefício ao atleta no sentido de que ele poderá ter acesso a seus resultados mesmo não estando presente na academia ou clube onde realizou o treino, basta estes terem o sistema ativado e alimentado corretamente.

O processo Atleta armazena o nome do atleta (nome), neste exemplo, para simplificar a Figura 15, foi inserido abaixo da hierarquia Nome apenas o processo Resultados e a variável identificação do atleta (ID), mas podem ser inseridos outras informações referentes ao atleta, como por exemplo, altura, peso, idade, nesta hierarquia. Através do processo Nome, poderão ser acessados os resultados dos últimos treinos realizados pelo atleta, neste exemplo foram considerados três treinos para ilustrar a estrutura do sistema. O processo piscina armazena o processo ID (identificação da piscina), que por sua vez armazena quantos metros é o comprimento da piscina. O processo Computa Volta incrementa o número de voltas que o atleta realiza durante o treino. O processo Registra Horário é responsável por registrar os seguintes horários: do início do treino, do início da volta, do fim da volta e o do fim do treino. O processo Calcular realiza o cálculo do tempo da última volta, a velocidade da última volta, o tempo total do treino, a distância total percorrida e a velocidade média. O processo Resultados apresenta o tempo da última volta, a velocidade da última volta, o tempo total do treino, a distância total percorrida e a velocidade média.

No próximo Capítulo será apresentado o modelamento matemático para a análise da propagação de um sinal de RF em diferentes meios.

4 *Modelamento Matemático*

4.1 Ondas

Uma onda é qualquer perturbação que se propaga em um meio e tem como propriedade fundamental o transporte de energia sem transportar matéria (CURSO DE FISICA, 2009).

As ondas são caracterizadas pelos seguintes elementos:

a. Amplitude – que vai do eixo médio da onda até o ponto mais alto de uma crista ou até o ponto mais baixo de um vale.
b. Comprimento de onda – denotada pelo símbolo λ, consiste na distância entre duas cristas sucessivas ou entre dois vales sucessivos.
c. Período – é o tempo gasto para formar uma onda. O período é o inverso da frequência.
d. Frequência – medida em hertz, representa o número de ondas formadas em um segundo. A frequência de uma onda eletromagnética na propagação através do espaço livre, no vácuo, é calculada utilizando a seguinte equação:

$$f = \frac{c}{\lambda} \tag{4.1}$$

onde,

f = frequência

c = velocidade da luz no vácuo

λ = comprimento de onda

A figura abaixo ilustra os conceitos acima apresentados.

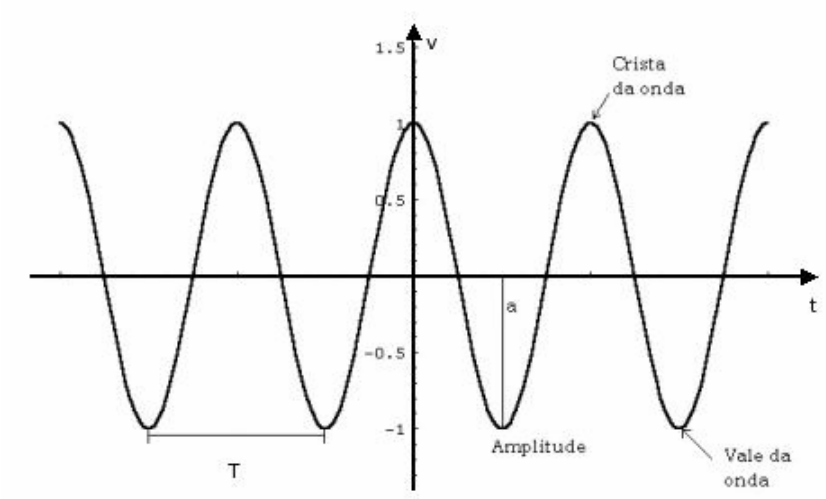

Figura 16: Exemplo de uma Onda.

onde,

t = tempo

v = volt

a = amplitude

T = período

4.2 Tipos de Ondas

Os principais tipos de ondas são:

- **Onda estacionária**. É formada por duas frentes de ondas, de mesmo comprimento de onda, frequência e amplitude, deslocando-se em direções opostas através do mesmo meio.
- **Onda longitudinal**. Uma onda na qual a partícula do meio de propagação vibra para frente e para trás ao longo da trajetória seguida pela onda no meio.
- **Onda mecânica**. Uma perturbação que se desloca através da matéria.
- **Ondas de rádio**. Também chamadas **ondas hertzianas**. Radiações eletromagnéticas produzidas por inversões rápidas de corrente em um condutor.
- **Ondas eletromagnéticas**. Ondas transversais no espaço, tendo uma componente elétrica e uma componente magnética, perpendiculares entre si e normais à direção de

propagação.

- **Onda transversal**. Uma onda em que as partículas do meio vibram em ângulo reto com a trajetória da onda no meio de propagação.

Ondas Eletromagnéticas (OEM)

As ondas eletromagnéticas são produzidas por uma antena submetida a uma corrente elétrica variável no tempo, de conformidade com a Lei de Ampére. Esta corrente dá origem a um campo elétrico variável no tempo, e este dará origem a um campo magnético, também variável no tempo.

As OEM têm uma boa propagação no ar, porém, na água, ela passa a ser rapidamente absorvida por este meio. Apenas as frequências extremamente baixas (ELF), muito baixas (VLF) e baixas (LF) conseguem alguma penetração no meio aquático, considerando ainda elevadas potências de transmissão. Por exemplo, estas ondas após percorrerem alguns metros, penetram na água até profundidades que permitem o recebimento de sinais por submarinos imersos até 30,48 m (VLF), como no sistema Omega de navegação. A Tabela 4.1 mostra a frequência e o comprimento de onda das ondas de rádio até 300 kHz. É possível perceber que conforme aumenta a frequência, diminui o comprimento de onda.

Tabela 4.1: Ondas de Rádio até 300 kHz

	ELF	**SLF**[5]	**ULF**[6]	**VLF**	**LF**
FREQUÊNCIA	3Hz – 30Hz	30Hz – 300Hz	300Hz – 3000Hz	3kHz – 30 kHz	30kHz – 300kHz
COMPRIMENTO DE ONDA	100.000 km – 10.000 km	10.000 km – 1.000 km	1.000 km – 100 km	100 km – 10 km	10 km – 1 km

4.3 Descrição do modelo utilizado neste trabalho

Nesta seção será modelada a proposta deste trabalho, que é utilizar a tecnologia RFId para monitorar atividades de natação. O principal desafio do modelo matemático que será apresentado é delimitar a área de cobertura do leitor de RFId, na qual irá variar devido a

5 Super Low Frequency ou frequência super baixa
6 Ultra Low Frequency ou frequência ultra baixa

mudança de meios do ar para a água, e assim, verificar quais são as limitações e os benefícios desta tecnologia no monitoramento de atividades de natação.

A frequência de 125 kHz deve ser adotada neste caso, pois a propagação em baixa frequência é melhor em meios tais como o ar e a água, e esta é a menor frequência usada em RFId.

Foram criados três modelos, o primeiro considera um leitor com alcance de 60 cm, no segundo modelo o alcance é de 1 m, e no terceiro o alcance é de 1,5m. Estes valores de alcance do leitor são valores encontrados em produtos de diferentes fabricantes. Devido ser um ambiente extremamente úmido e, por ventura, haver mudanças de meio entre o ar e a água, será considerado uma atenuação de 40% do sinal, limitando ainda mais o alcance, conforme recomendação de um fabricante (AKIYAMA, 2009).

Atualmente existem diversos fabricantes que oferecem leitores para os sistemas RFId. No caso de sistemas do tipo RFId passivo utilizando a frequência de 125 kHz, existem leitores que possuem alcance de leitura de 5 cm a 150 cm (ACURA SECURITY, 2009).

A Figura 17 ilustra um sinal de RF enviado por um leitor a um transmissor em uma piscina. A etiqueta, neste exemplo, está submersa, mas ela poderia encontrar-se fora da água conforme seção 4.5. A variável h_L representa a altura do leitor até a borda da piscina, d_{Ar} representa a distância entre o leitor e o eixo normal (eixo divisório entre o meio ar e água), P_{Ar} é o percurso do feixe eletromagnético no ar até o eixo normal, α é o ângulo formado entre a água e o feixe eletromagnético no ar e o θ_i é o ângulo do feixe de incidência (ângulo formado entre a água da piscina e o eixo normal). A variável h_N representa a profundidade da etiqueta que está com o nadador (da superfície da água até o local onde se encontra acoplada), $d_{Água}$ é a distância entre o eixo normal e o nadador, $P_{Água}$ é o percurso do feixe eletromagnético na água (do eixo normal até a etiqueta) e o θ_t é o ângulo do feixe transmitido (formado entre o eixo normal e o $P_{Água)}$. Este é o modelo que será usado neste trabalho, visando investigar quantos centímetros um sinal de RF irá atingir ao propagar-se em diferentes meios.

A variável h_L apresentada na Figura 17 define a altura entre o leitor e a borda da piscina, esta distância será relevante na hora de instalar o leitor, pois a área de cobertura do leitor dependerá da altura em que o mesmo estiver instalado. A variável h_N define a profundidade da etiqueta que está com o nadador, se a profundidade for maior que a capacidade de alcance de leitura, não ocorrerá identificação da etiqueta. A variável d_{Ar} define a distância entre o leitor até o ponto em que a etiqueta fica submersa na água. O ângulo α define o ângulo

formado entre a água e o feixe eletromagnético no ar, este ângulo é utilizado para realizar o cálculo do ângulo transmitido, conforme será apresentado na seção 4.4.

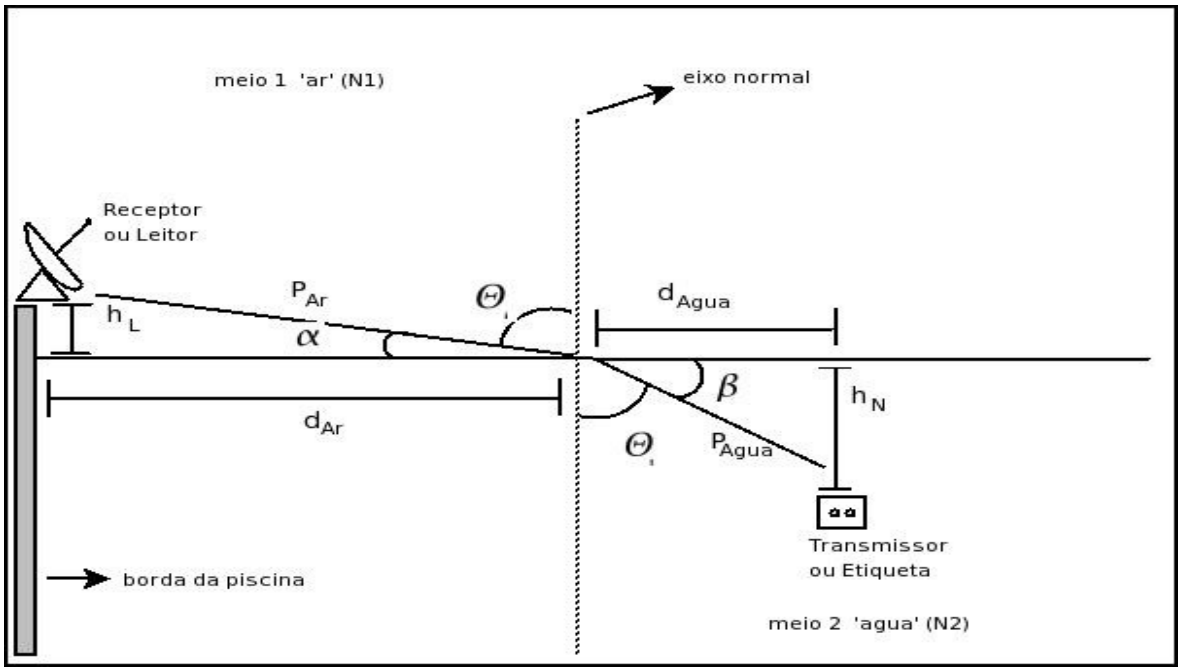

Figura 17: Exemplo da propagação de um sinal em diferentes meios.

onde,

h_L = Altura do leitor até a borda da piscina

d_{Ar}= Distância entre o leitor e o eixo normal (mudança de meio)

P_{Ar} = Percurso (distância) do feixe eletromagnético no ar

θ_i= Ângulo do feixe de incidência

θ_t= Ângulo do feixe transmitido

h_N= Profundidade da etiqueta que está com o nadador

$d_{Água}$= Distância entre o eixo normal e o nadador

$P_{Água}$= Percurso do feixe eletromagnético na água

N_1= Índice de refração no ar

N_2= Índice de refração na água

α = Ângulo formado entre a água e o feixe eletromagnético no ar

β = Ângulo formado entre a água e o feixe eletromagnético na água

Através da análise da figura apresentada é possível realizar um modelamento de como

ocorre a transmissão de uma onda eletromagnética em diferentes meios de propagação. Mas antes, deve-se entender como é realizada a virada durante um treino de natação, momento, na qual será realizada a leitura do ID.

4.3.1 Como ocorre uma virada em uma piscina

Existem duas formas de o nadador fazer a virada quando chega à borda da piscina, tocando-a com a mão para ajudar na virada, e a chamada volta olímpica, onde o atleta dá uma cambalhota e com os pés o impulsiona de retorno para a raia. Em ambas as viradas ele dá um giro de 180º e, normalmente, impulsiona o retorno com os pés na borda da piscina.

A virada ocorre de forma muito rápida, principalmente em campeonatos de natação, ainda assim é mais lenta que o tempo de leitura do leitor de RFId, de até 100 ms (AKIYAMA; ACURA SECURITY, 2009) conforme explicado na seção 4.1. Baseado em informações de profissionais de educação física que atuam na área de natação, o tempo da virada será sempre maior, do que a leitura realizada, pelo menos duas vezes mais rápida. Sendo assim, o leitor poderá realizar mais de uma leitura do mesmo atleta durante uma virada, para que não haja erro de cronometragem, propõe-se que o sistema registre sempre a primeira leitura.

A Figura 18 ilustra um nadador realizando uma virada em uma piscina, a curva mostra o giro de 180º, com retorno paralelo a linha d'água devido à impulsão dos pés na parede e a necessidade de retornar a nadar rapidamente. A figura também ilustra uma sugestão de onde o leitor de RFId pode ser posicionado na piscina, junto a borda de largada.

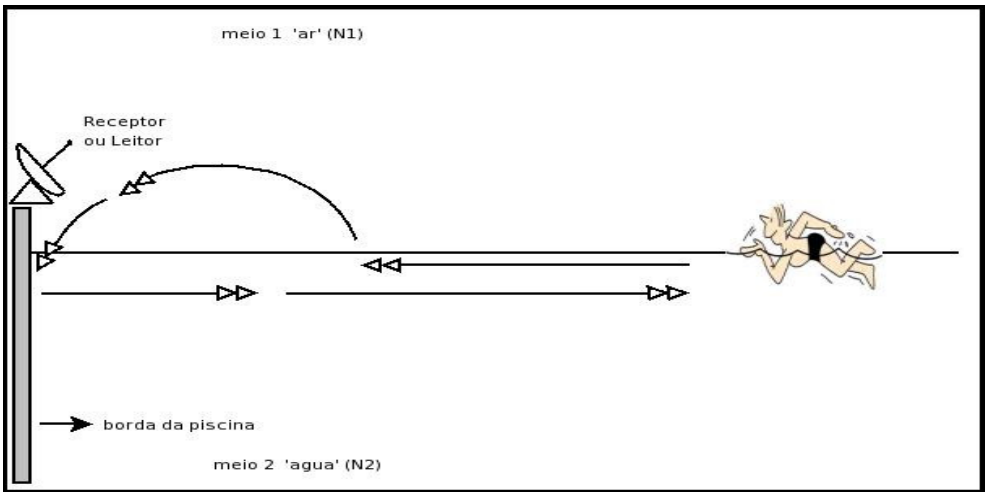

Figura 18: Exemplo de um nadador realizando uma volta olímpica.

A partir da configuração descrita, das limitações tecnológicas e do ambiente, pode-se realizar o seguinte modelo matemático, a fim de obter uma especificação do uso da tecnologia

RFId para o monitoramento de atividades de natação.

4.4 Modelo matemático

O objetivo deste modelamento matemático é definir a área de cobertura do leitor, visando apresentar a área em que ocorre a leitura dos dados da etiqueta, e o quão próximo o nadador deverá estar do leitor para que haja o registro do seu ID pelo mesmo.

Para que se possa explicar melhor e entender o sistema, serão abordados nesta seção os cálculos a fim de encontrar valores aproximados da distância entre o leitor e a etiqueta em mudanças de meio de propagação, neste caso entre o ar e a água. Como base para os cálculos será utilizado o Teorema de Pitágoras[7] apresentado na Equação 4.2.

$$A^2 = B^2 + C^2 \tag{4.2}$$

O Teorema de Pitágoras será utilizado para modelar o sistema proposto, pois o mesmo pode representar um triângulo retângulo, os quais aparecem no sistema, apresentado na Figura 17. A variável A (hipotenusa), representa $P_{ar,}$ percurso do feixe eletromagnético no ar, a variável B (cateto), representa $h_{L,}$ altura do leitor até a borda da piscina e a variável C (cateto), representa d_{Ar}. É possível realizar o cálculo de $d_{Ar,}$ distância entre o leitor e o eixo normal, desde que atribua valores para as variáveis P_{ar} e h_L, a Equação 4.3 ilustra a fórmula isolando-se o d_{Ar}. O valor da variável d_{Ar} será encontrado para realizar o somatório com $d_{Água}$ e encontrar o d_{Total}.

$$d_{Ar} = \sqrt{P_{Ar}^{\ 2} - h_L^{\ 2}} \tag{4.3}$$

Para calcular o α, ângulo formado entre a água e o feixe eletromagnético no ar, utiliza-se a lei da trigonometria conforme a Equação 4.4 sendo que o cateto oposto representa h_L e a hipotenusa P_{ar}. O cálculo do ângulo α deve ser realizado para encontrar o ângulo θ_i.

[7] Em qualquer triângulo retângulo, o quadrado da hipotenusa é igual à soma dos quadrados dos catetos.

$$sen\alpha = \frac{Cat.oposto}{hipotenusa} \tag{4.4}$$

O θ_i, ângulo do feixe de incidência, deve ser calculado conforme Equação 4.5. O ângulo formado entre a água da piscina e o eixo normal é reto (90º), subtrai-se do ângulo α e se obtém o ângulo θ_i. Através do cálculo do ângulo θ_i é possível encontrar o valor do ângulo transmitido θ_t.

$$\theta_i = 90 - \alpha \tag{4.5}$$

Para cálculo do θ_t, ângulo do feixe transmitido usa-se a Lei de Snell ou Lei da refração onde N_1 representa o índice de refração do ar e N_2 o índice de refração da água conforme a Equação 4.6. De acordo com (EFISICA, 2009) o índice de refração do ar (N_1) é igual a 1 e o índice de refração da água (N_2) é 1,33. Cabe ressaltar que o índice de refração da água da piscina pode sofrer uma pequena alteração em seu valor, devido à clorinidade da água. A partir desses dados e considerando o resultado da Equação 4.5 é possível calcular o ângulo transmitido θ_t.

$$\frac{sen\theta_t}{sen\theta_i} = \frac{N_1}{N_2} \tag{4.6}$$

Com o resultado acima de θ_t, e considerando $P_{Água}$, Percurso do feixe eletromagnético na água, igual a um valor n, onde n deve ser um número positivo, é possível calcular o h_N, profundidade da etiqueta que está com o nadador, como mostra a Equação 4.7 e também é possível calcular $d_{Água}$, distância entre o eixo normal e o nadador, como mostra a Equação 4.8. O valor de h_N será encontrado para saber qual a profundidade que o sinal poderá atingir na água. O valor da variável $d_{Água}$ será encontrado para realizar o somatório com d_{Ar} e encontrar o d_{Total}.

$$h_N = P_{Água} \times \cos \theta_t \tag{4.7}$$

$$d_{Água} = P_{Água} \times sen\ \theta_t \tag{4.8}$$

A distância total (d_{Total}) é a distância entre a borda da piscina e o nadador em linha reta, a qual será calculada somando-se d_{Ar} com $d_{Água}$, como mostra a Equação 4.9. O cálculo desta distância é fundamental para saber a distância que o nadador estará da borda da piscina ao ser identificado pelo leitor.

$$d_{Total} = d_{Ar} + d_{Água} \tag{4.9}$$

Dependendo do ângulo em que se encontra a etiqueta no momento da leitura, a distância entre o leitor e a etiqueta terá uma variação. O valor de d_{Total} será maior caso a etiqueta esteja fora da água, pois dentro da água o sinal sempre irá propagar-se a uma velocidade menor.

A partir das equações mostradas nesta seção, mostrou-se que é possível identificar a área de cobertura do leitor de RFId. A variável d_{Total} ilustra a distância máxima que a etiqueta de RFId deve estar do leitor para que este comece a sentir sua presença, conforme mostra a Figura 17. À medida que ocorre a imersão da etiqueta na água, a área de cobertura do leitor diminui, pois a variação de d_{Total} influencia diretamente na área de cobertura do leitor. Desta forma, como o leitor de RFId irradia o sinal através de uma antena omnidirecional, a área de cobertura do leitor será definida pelos valores máximos de d_{Total}, considerando as infinitas posições que a etiqueta poderá estar ao se aproximar do mesmo. Logo, ao considerar a variação do ângulo θ_i será definido um novo valor para d_{Total}, delimitando a área de cobertura do leitor.

4.5 Especificação do sistema RFId

Com base nos modelos a seguir serão criados cenários, os quais serão apresentados no Capítulo 5. Os modelos apresentados abaixo terão o objetivo de analisar qual a melhor posição do leitor e da etiqueta para ser realizado o monitoramento de atividades de natação. Serão utilizados leitores de alcance de 60 cm, de 1 m e de 1,50 m nos diferentes modelos. A etiqueta utilizada em todos os modelos será do tipo passiva e ativada quando entrar na área de cobertura do leitor.

Nos cenários a posição do leitor será variada, ele será colocado na borda da piscina no

meio da raia para atingir uma raia, ou na divisão das raias para alcançar duas raias, será posicionado também em um suporte de alumínio ou outro material resistente avançando para dentro da piscina. A etiqueta também estará posicionada em diferentes locais, dependendo do tipo de nado ela será acoplada no tornozelo, no punho ou na touca.

4.6 Modelo 1

Este modelo especifica um leitor de RFId com alcance de leitura de 60 cm no ar. É analisado um sinal de RFId enviado por um leitor a uma etiqueta a qual poderá estar submersa em uma piscina, onde a distância do percurso do sinal ($P_{Ar} + P_{Água}$) não deve ultrapassar a 36 cm, pois está sendo considerada uma atenuação de aproximadamente 40% devido o ambiente que este sistema está inserido.

Com base nas equações citadas na seção 4.4, será mostrado um exemplo de resolução atribuindo alguns valores para as variáveis h_L, P_{ar} e $P_{Água}$. As tabelas apresentadas a seguir serão elaboradas baseadas no modelo matemático citado na seção 4.4, visando encontrar a melhor altura para posicionar o leitor, para isto, calcula-se a distância entre a borda da piscina e o nadador em linha reta, representada por d_{Total}.

Neste primeiro modelo atribui-se valores para h_L e P_{ar}. Sendo h_L (altura do leitor até a borda da piscina) igual a 10 cm, P_{ar} (Percurso do feixe eletromagnético no ar) igual a 15 cm, valores apresentados na linha 3 da Tabela 4.2, é possível calcular d_{Ar}, conforme Equação 4.3, obtendo-se como resultado 11,18 cm.

Para calcular o α, ângulo formado entre a água e o feixe eletromagnético no ar, utiliza-se a lei da trigonometria conforme a Equação 4.4 sendo que o cateto oposto representa h_L e a hipotenusa P_{ar}. O resultado do α neste exemplo é de 41,81º.

O θ_i, ângulo do feixe de incidência, será calculado conforme Equação 4.5. O ângulo formado entre a água da piscina e o eixo normal é reto (90º) subtrai-se do α (41,81º) obtém-se o θ_i, que neste exemplo é de 48,19º.

Para cálculo do θ_t, ângulo do feixe transmitido usa-se a Lei de Snell ou Lei da refração onde N_1 representa o índice de refração do ar e N_2 o índice de refração da água conforme a Equação 4.10. De acordo com (EFISICA, 2009) o índice de refração do ar (N_1) é igual a 1 e o índice de refração da água (N_2) é 1,33, valor aproximado para a água doce. O valor de N_2 pode variar devido a quantidade de cloro contida na água sendo considerado neste trabalho o

índice de refração da água doce de 1,33. A partir desses dados e considerando θ_i igual a 48,19º é possível calcular o ângulo transmitido θ_t que neste exemplo é de 55,92º. A Equação 4.10 reporta-se a Equação 4.6, porém com θ_t isolado.

$$\theta_t = sen^{-1}\left[\left(\frac{N1}{N2}\right) \times sen\ \theta_i\right] \tag{4.10}$$

Com o resultado acima de θ_t, e considerando $P_{Água}$, Percurso do feixe eletromagnético na água, igual a 21 cm, é possível calcular o h_N, profundidade da etiqueta que está com o nadador, como mostra a Equação 4.11 e também é possível calcular $d_{Água}$, distância entre o eixo normal e o nadador, como mostra a Equação 4.12. Neste exemplo o h_N é de 17,39 cm e $d_{Água}$ é de 11,77 cm.

$$h_N = P_{Água} \times \cos\ \theta_t \tag{4.11}$$

$$d_{Água} = P_{Água} \times sen\ \theta_t \tag{4.12}$$

A distância total (d_{Total}) é a distância entre a borda da piscina e o nadador em linha reta, a qual será calculada somando-se d_{Ar} com $d_{Água}$, como mostra a Equação 4.13, neste exemplo o resultado foi de 22,95 cm.

$$d_{Total} = d_{Ar} + d_{Água} \tag{4.13}$$

Tendo como base o Modelo 1 serão criadas três tabelas descritas a seguir.

As tabelas apresentadas a seguir demonstram valores de d_{Ar}, α, θ_i, θ_t, h_N, $d_{Água}$ e d_{Total}. O valor de d_{Total}, distância entre a borda da piscina e o nadador em linha reta, será referência para a criação de cenários, os quais serão apresentados no Capítulo 5, tendo como objetivo oferecer uma melhor compreensão quanto à posição do leitor e sua área de cobertura.

A Tabela 4.2 ilustra cálculos mostrando os resultados obtidos com as variáveis h_L (Altura do leitor) tendo o valor fixo de 10 cm, P_{Ar} (Percurso no ar) e $P_{Água}$ (Percurso na água) com algumas variações.

Tabela 4.2: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 10 cm para o Modelo 1.

h_L = 10								
P_{ar}	**d_{Ar}**	**A**	**θ_i**	**θ_t**	**$P_{Água}$**	**h_N**	**$d_{Água}$**	**d_{Total}**
15	11,18	41,81	48,19	34,08	**21**	17,39	11,77	22,95
20	17,32	30	60	40,63	**16**	12,14	10,42	27,74
25	22,91	23,58	66,42	43,56	**11**	7,97	7,58	30,49
30	28,28	19,47	70,53	45,14	**6**	4,23	4,25	32,53
$d_{Total} = d_{Ar} + d_{Água}$					**Distâncias em cm** **Ângulos em graus**			

A Tabela 4.3 ilustra os mesmos cálculos da Tabela 4.2, porém com h_L (Altura do leitor) com valor fixo de 15 cm, P_{Ar} (Percurso no ar) e $P_{Água}$ (Percurso na água) com algumas variações.

Tabela 4.3: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 15 cm para o Modelo 1.

h_L = 15								
P_{ar}	**d_{Ar}**	**α**	**θ_i**	**θ_t**	**$P_{Água}$**	**h_N**	**$d_{Água}$**	**d_{Total}**
16	5,57	69,64	20,36	15,17	**20**	19,3	5,23	10,8
20	13,23	48,59	41,41	29,82	**16**	13,88	7,96	21,19
25	20	36,87	53,13	36,98	**11**	8,79	6,62	26,62
30	25,98	30,0	60,0	40,63	**6**	4,55	3,91	29,89
$d_{Total} = d_{Ar} + d_{Água}$					**Distâncias em cm** **Ângulos em graus**			

A Tabela 4.4 ilustra os mesmos cálculos da Tabela 4.3, porém com h_L (Altura do leitor) com valor fixo de 20 cm, P_{Ar} (Percurso no ar) e $P_{Água}$ (Percurso na água) com algumas variações.

Tabela 4.4: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 20 cm para o Modelo 1.

h_L = 20								
P_{ar}	**d_{Ar}**	**α**	**θ_i**	**θ_t**	**$P_{Água}$**	**h_N**	**$d_{Água}$**	**d_{Total}**
21	6,4	72,25	17,75	13,25	**15**	14,6	3,44	9,84
25	15	53,13	36,87	26,82	**11**	9,82	4,96	19,96
30	22,36	41,81	48,19	34,08	**6**	4,97	3,36	25,72
35	28,72	34,85	55,15	38,10	**1**	0,79	0,62	29,34
$d_{Total} = d_{Ar} + d_{Água}$					**Distâncias em cm** **Ângulos em graus**			

Analisando o primeiro modelo, conclui-se que quanto maior a altura do leitor (h_L), menor será à distância de alcance de leitura do sinal.

Neste modelo conclui-se que o d_{Total} varia de 22,95 cm a 32,53 cm com P_{ar} igual a 15 cm e 30 cm respectivamente, mantendo-se h_L igual a 10 cm conforme Tabela 4.2. Com h_L igual a 15 cm, d_{Total} varia de 10,8 cm a 29,89 cm com P_{ar} igual a 16 cm e 30 cm respectivamente, conforme Tabela 3.3. Com h_L igual a 20 cm, d_{Total} varia de 9,84 cm a 29,34 cm com P_{ar} igual a 21 cm e 35 cm respectivamente, conforme Tabela 4.4. Nota-se que a maior variação ocorre com h_L igual a 20 cm sendo esta de 19,5 cm.

A pior hipótese neste modelo 1 é com h_L igual a 20 cm, P_{Ar} igual a 21 cm e $P_{Água}$ igual a 15 cm, pois d_{Total} será igual a 9,84 cm. Isto mostra que o nadador terá que aproximar-se muito da borda da piscina.

Conclui-se também que se mantiver o leitor em uma altura de 20 cm o sinal sofre muita atenuação, ou seja, apenas 4,96 cm irá penetrar na água se o P_{ar} for de 25 cm.

Neste caso, quanto mais submersa estiver a etiqueta e distante do leitor, pior será a linha de visada entre ambos.

4.7 Modelo 2

Este modelo especifica um leitor de RFId com alcance de leitura de 1 m no ar. É analisado um sinal de RFId enviado por um leitor a uma etiqueta que se encontra submersa em uma piscina, onde teoricamente, o percurso do sinal ($P_{ar} + P_{Água}$) não deve ultrapassar a 60 cm, pois o sinal quando entra na água, sofre uma atenuação de aproximadamente 40% de sua

potência, assim como visto no Modelo 1. O raciocínio para realizar os cálculos deste modelo foi o mesmo utilizado para o Modelo 1.

O valor de $d_{Total,}$ distância entre a borda da piscina e o nadador em linha reta, será referência para a criação de cenários, os quais serão apresentados no Capítulo 5, tendo como objetivo oferecer uma melhor compreensão quanto à posição do leitor e sua área de cobertura.

As tabelas abaixo serão elaboradas baseadas no modelo matemático citado na seção 4.4, o Modelo 2 também será realizado desta mesma maneira que o Modelo 1, visando mostrar resultados para d_{Total} .

A Tabela 4.5 ilustra cálculos mostrando os resultado obtidos com as variáveis h_L (Altura do leitor) tendo o valor fixo de 10 cm, P_{Ar} (Percurso no ar) e $P_{Água}$ (Percurso na água) com algumas variações.

As tabelas apresentadas a seguir demonstram valores de d_{Ar}, α, θ_i, θ_t, h_N, $d_{Água}$ e d_{Total}, elas foram construídas conforme o modelo matemático citado na seção 3.4.

Tabela 4.5: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 10 cm para o Modelo 2.

h_L = 10								
P_{ar}	**d_{Ar}**	**α**	**θ_i**	**θ_t**	**$P_{Água}$**	**h_N**	**$d_{Água}$**	**d_{Total}**
15	11,18	41,81	48,19	34,08	**45**	37,27	25,22	36,40
20	17,32	30	60	40,63	**40**	30,36	26,05	43,37
30	28,28	19,47	70,53	45,14	**30**	21,16	21,27	49,55
40	38,73	14,48	75,52	46,72	**20**	13,71	14,56	53,29
50	48,99	11,54	78,46	47,45	**10**	6,76	7,37	56,36
$d_{Total} = d_{Ar} + d_{Água}$					**Distâncias em cm** **Ângulos em graus**			

A Tabela 4.6 ilustra os mesmos cálculos da Tabela 4.5, porém com h_L (Altura do leitor) com valor fixo de 15 cm, P_{Ar} (Percurso no ar) e $P_{Água}$ (Percurso na água) com algumas variações.

Tabela 4.6: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 15 cm para o Modelo 2.

h_L = 15								
P_{ar}	**d_{Ar}**	**α**	**θ_i**	**θ_t**	**$P_{Água}$**	**h_N**	**$d_{Água}$**	**d_{Total}**
16	5,57	69,64	20,36	15,57	**44**	42,47	11,51	17,08
20	13,23	48,59	41,41	29,82	**40**	34,70	19,89	33,12
30	25,98	30	60	40,63	**30**	22,77	19,53	45,52
40	37,08	22,02	67,98	44,19	**20**	14,54	13,94	51,02
50	47,70	17,46	72,54	45,83	**10**	6,97	7,17	54,87
$d_{Total} = d_{Ar} + d_{Água}$					**Distâncias em cm** **Ângulos em graus**			

A Tabela 4.7 ilustra os mesmos cálculos da Tabela 4.6, porém com h_L (Altura do leitor) com valor fixo de 20 cm, P_{Ar} (Percurso no ar) e $P_{Água}$ (Percurso na água) com algumas variações.

Tabela 4.7: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 20 cm para o Modelo 2.

h_L = 20								
P_{ar}	**d_{Ar}**	**α**	**θ_i**	**θ_t**	**$P_{Água}$**	**h_N**	**$d_{Água}$**	**d_{Total}**
21	6,40	72,25	17,75	13,25	**39**	37,96	8,94	15,34
25	15	53,13	36,87	26,82	**35**	31,24	15,79	30,79
30	22,36	41,81	48,19	34,08	**30**	24,85	16,81	39,17
40	34,64	30	60	40,63	**20**	15,18	13,02	47,66
50	45,83	23,58	66,42	43,56	**10**	7,25	6,89	52,72
$d_{Total} = d_{Ar} + d_{Água}$					**Distâncias em cm** **Ângulos em graus**			

Analisando o segundo modelo, conclui-se que quanto maior a altura do leitor (h_L), menor será à distância de alcance de leitura do sinal, assim como foi visto no Modelo 1.

Neste modelo conclui-se que o d_{Total} varia de 36,4 cm a 56,36 cm com P_{ar} igual a 15 cm e 50 cm respectivamente, mantendo-se h_L igual a 10 cm. Com h_L igual a 15 cm, d_{Total} varia de 17,08 cm a 54,87 cm com P_{ar} igual a 16 cm e 50 cm respectivamente. Com h_L igual a 20 cm,

d_{Total} varia de 15,34 cm a 52,72 cm com P_{ar} igual a 21 cm e 50 cm respectivamente. A maior variação do valor de d_{Total} ocorre com h_L igual 15 cm sendo este valor igual a 37,79 cm.

A pior hipótese neste Modelo 1 é com h_L igual a 20 cm, P_{Ar} igual a 21 cm e $P_{Água}$ igual a 39 cm, pois d_{Total} será igual a 15,34 cm.

Conclui-se também que se mantiver o leitor em uma altura de 20 cm o sinal irá penetrar na água 16,81 cm se o P_{ar} for igual a 30 cm e apenas 6,89 cm se o P_{ar} for igual a 50 cm.

Neste caso, quanto mais submersa estiver a etiqueta e distante do leitor, pior será a linha de visada entre ambos.

4.8 Modelo 3

Este modelo especifica um leitor de RFId com alcance de leitura de 1,5 m no ar. É analisado um sinal de RFId enviado por um leitor a uma etiqueta que se encontra submersa em uma piscina, onde teoricamente, o percurso do sinal ($P_{ar} + P_{Água}$) não deve ultrapassar a 90 cm, pois o sinal quando entra na água, sofre uma atenuação de aproximadamente 40% de sua potência, assim como visto nos modelos 1 e 2. O raciocínio para realizar os cálculos deste modelo foi o mesmo utilizado para o Modelo 1.

As tabelas abaixo serão elaboradas baseadas no modelo matemático citado na seção 4.4, visando encontrar a melhor altura para posicionar o leitor, para isto, calcula-se a distância entre a borda da piscina e o nadador em linha reta, representada por $d_{Total.}$

A Tabela 4.8 ilustra cálculos mostrando os resultados obtidos com as variáveis h_L (Altura do leitor) tendo o valor fixo de 10 cm, P_{Ar} (Percurso no ar) e $P_{Água}$ (Percurso na água) com algumas variações.

Tabela 4.8: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 10 cm para o Modelo 3.

h_L = 10								
P_{ar}	**d_{Ar}**	**α**	**θ_i**	**θ_t**	**$P_{Água}$**	**h_N**	**$d_{Água}$**	**d_{Total}**
40	38,73	14,48	75,52	46,72	**50**	34,28	36,40	75,13
50	48,99	11,54	78,46	47,45	**40**	27,05	29,47	78,46
60	59,16	9,59	80,41	47,85	**30**	20,13	22,24	81,40
70	69,28	8,21	81,79	48,09	**20**	13,36	14,88	84,17
80	79,37	7,18	82,82	48,24	**10**	6,67	7,46	86,83
$d_{Total} = d_{Ar} + d_{Água}$					**Distâncias em cm** **Ângulos em graus**			

A Tabela 4.9 ilustra os mesmos cálculos da Tabela 4.8, porém com h_L (Altura do leitor) com valor fixo de 15 cm, P_{Ar} (Percurso no ar) e $P_{Água}$ (Percurso na água) com algumas variações.

Tabela 4.9: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 15 cm para o Modelo 3.

h_L = 15								
P_{ar}	**d_{Ar}**	**α**	**θ_i**	**θ_t**	**$P_{Água}$**	**h_N**	**$d_{Água}$**	**d_{Total}**
40	37,08	22,02	67,98	44,19	**50**	35,85	34,85	71,93
50	47,70	17,46	72,54	45,83	**40**	27,87	28,69	76,39
60	58,09	14,48	75,52	46,72	**30**	20,57	21,84	79,93
70	68,37	12,37	77,63	47,26	**20**	13,57	14,69	83,06
80	78,58	10,81	79,19	47,61	**10**	6,74	7,39	85,97
$d_{Total} = d_{Ar} + d_{Água}$					**Distâncias em cm** **Ângulos em graus**			

A Tabela 4.10 ilustra os mesmos cálculos da Tabela 4.9, porém com h_L (Altura do leitor) com valor fixo de 15 cm, P_{Ar} (Percurso no ar) e $P_{Água}$ (Percurso na água) com algumas variações.

Tabela 4.10: Cálculo da distância total em função de h_L igual a 20 cm para o Modelo 3.

h_L = 20								
P_{ar}	**d_{Ar}**	**α**	**θ_i**	**θ_t**	**$P_{Água}$**	**h_N**	**$d_{Água}$**	**d_{Total}**
40	34,64	30	60	40,63	**50**	37,95	32,56	67,20
50	45,83	23,58	66,42	43,56	**40**	28,99	27,56	73,39
60	56,57	19,47	70,53	45,14	**30**	21,16	21,27	77,83
70	67,08	16,6	73,4	46,1	**20**	13,87	14,41	81,49
80	77,46	14,48	75,52	46,72	**10**	6,86	7,28	84,74
$d_{Total} = d_{Ar} + d_{Água}$					**Distâncias em cm** **Ângulos em graus**			

Analisando o terceiro modelo, conclui-se que quanto maior a altura do leitor (h_L), menor será à distância de alcance de leitura do sinal, assim como foi visto nos Modelos 1 e 2.

Neste modelo conclui-se que o d_{Total} varia de 75,13 cm a 86,83 cm com P_{ar} igual a 40 cm e 80 cm respectivamente, mantendo-se h_L igual a 10 cm. Com h_L igual a 15 cm, d_{Total} varia de 71,93 cm a 85,97 cm com P_{ar} igual a 40 cm e 80 cm respectivamente. Com h_L igual a 20 cm, d_{Total} varia de 67,20 cm a 84,74 cm com P_{ar} igual a 40 cm e 80 cm respectivamente. A maior variação do valor de d_{Total} ocorre com h_L igual 20 cm sendo este valor de 17,54 cm.

Conclui-se também que se mantiver o leitor em uma altura de 20 cm o sinal irá penetrar na água 32,56 cm se o P_{ar} for de 40 cm. Tendo o valor de P_{ar} igual a 80 cm, o sinal penetra na água apenas 7,28 cm.

4.9 Discussão

Comparando-se os modelos apresentados, conclui-se que no Modelo 1 a etiqueta RFId deve vir muito próximo à borda da piscina para que ocorra a leitura. No entanto, o Modelo 3 garante que seja realizada a leitura dos dados da etiqueta a uma distância maior, permitindo seu uso em um sistema mais complexo.

A limitação do sistema proposto está no fato de o leitor ser configurado apenas para capturar sinais muito próximos da borda da piscina e no fato de que o nadador não se

aproxime do leitor a uma distância suficiente para que ocorra a leitura dos dados.

A vantagem de se utilizar um leitor com um alcance de 1,5 m garante que se o leitor estiver colocado junto à borda da piscina na altura de 50 cm, o mesmo irá comunicar-se com a etiqueta para captar os dados, fato que não ocorre nos Modelos 1 e 2. Percebe-se que a distância de 90 cm apresentada no Modelo 3 favorece caso o leitor seja instalado em uma altura maior que nos demais, e permite que a leitura do ID seja realmente realizada, pois o alcance é maior.

4.10 Resultados

O sistema apresentado no Modelo 3 tem a vantagem de capturar os dados da etiqueta em uma distância maior, pois mesmo com a altura do leitor de 20 cm ele tem uma área de cobertura satisfatória.

É possível colocar um leitor em cada borda da piscina e realizar a interligação dos mesmos para ter cronometrados os tempos de prova em uma competição, por exemplo.

Realizando a implementação de um sistema RFId conforme descrito, é possível: identificar o atleta nadador, monitorar o tempo de cada volta, seu tempo total de treino e a velocidade de cada volta, por exemplo.

Existe a viabilidade de se implementar um sistema RFId para monitorar atividades de natação, contudo, é necessário salientar que o nadador deverá aproximar-se no mínimo a uma distância que garanta a leitura do sinal, e permanecer dentro desta área de cobertura por pelo menos o tempo necessário para realizar uma leitura, já especificado em até 100ms.

A área de cobertura do sistema dependerá do tipo de leitor, podendo ser encontrado comercialmente leitores com alcance de 60, 100 e 150 cm no ar, cujo alcance na água sofrerá atenuação conforme explicado na Seção 4.6.

No próximo capítulo serão apresentados diversos cenários ilustrando uma piscina com um sistema RFId, vislumbrando a realização de testes práticos para comprovação do desempenho e viabilidade de um sistema desta natureza.

5 *Descrição de cenários para a avaliação do sistema proposto*

Alguns cenários foram estudados para melhor compreensão da posição do leitor e de sua área de cobertura, os quais servirão de base para a implementação prática do sistema RFId. Serão abordados seis cenários com diversas possibilidades de testes nos quais, o nadador e o leitor serão analisados em diversas situações.

Em todos os cenários o nadador aproxima-se do leitor onde ocorre a leitura dos dados, este identifica a etiqueta possibilitando contabilizar a quantidade de voltas e o tempo de cada volta, monitorando o treino do atleta.

Essas informações são processadas, armazenadas e disponibilizadas para o nadador, disponibilizando-as em um monitor para acompanhamento do nadador e de seu treinador.

Em alguns cenários é possível realizar testes para que o *middleware* controle vários leitores ao mesmo tempo, neste caso, deve-se considerar que quanto mais leitores o *middleware* estiver controlando, maior deverá ser sua capacidade de processamento, consequentemente sua memória.

Para a criação dos cenários será considerada como exemplo uma piscina semi-olímpica que possui as dimensões de 25 m de comprimento, 15 m de largura, 1,4 m de profundidade na borda rasa da piscina e 3 m de profundidade na borda funda da piscina. A piscina possui 6 raias, sendo cada uma com 2,5 m de largura. A Figura 19 ilustra a piscina descrita acima.

Conforme dados pesquisados junto a algumas piscinas da região metropolitana de Florianópolis, a distância entre o nível da água da piscina e a borda mantém-se em torno de 15 cm. Algumas piscinas mantêm a distância de 10 cm enquanto que outras utilizam de 15 cm a 20 cm. Cabe ressaltar que no período do inverno o nível de água nas piscinas tende a ficar um pouco mais baixo para facilitar o aquecimento da piscina.

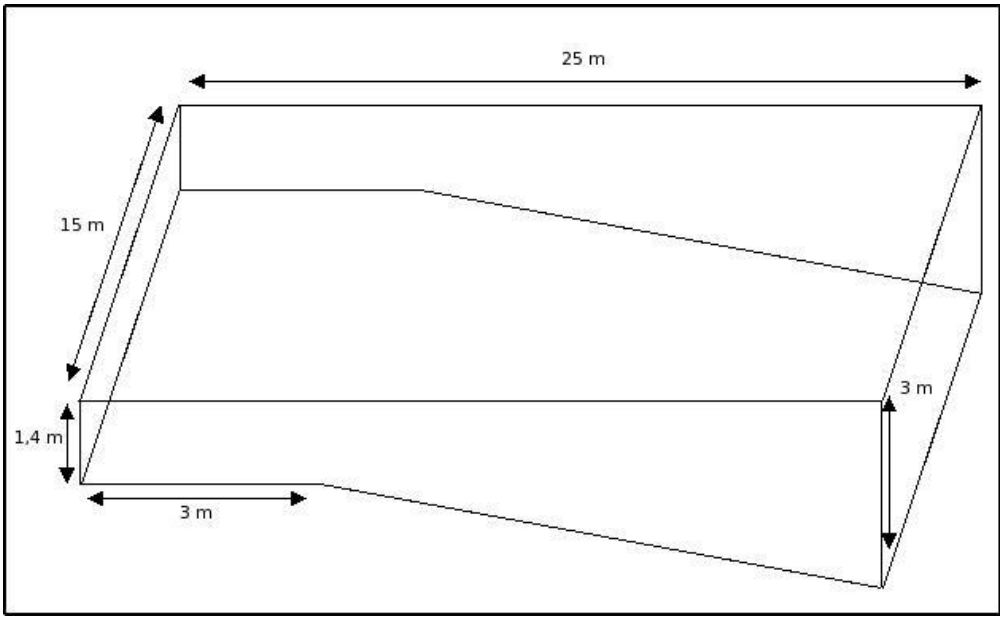

Figura 19: Leiaute de uma piscina semi-olímpica.

Em diversos cenários a etiqueta encontra-se acoplada no tornozelo do nadador, submersa na maior parte do tempo, onde cada vez que o nadador entra na área de cobertura do leitor ocorre a leitura dos dados da etiqueta. Ela é posicionada no tornozelo do nadador porque a cada virada o nadador leva seus pés até a borda da piscina, facilitando a leitura. O tempo médio de leitura é de 100 ms, portanto é necessário que o nadador demore no mínimo este tempo durante a realização da virada junto à borda da piscina. Então, o leitor repassa para o *middleware* a identificação do nadador, o qual processará os dados da etiqueta e os armazenará na memória. Existe a possibilidade de colocar a etiqueta no pulso ou na touca do nadador para a realização de testes, conforme será apresentado em alguns cenários.

5.1 Cenário com um nadador por raia e leitura em uma única borda da piscina

A importância da criação deste cenário é de comprovar através de teste prático a eficácia do sistema RFId para uso no esporte, neste caso, a natação.

Neste cenário, há um nadador e um leitor RFId por raia. Considera-se neste primeiro cenário a altura do leitor de 15 cm acima da borda da piscina, pois este foi o caso prático encontrado na academias. O leitor será instalado no centro da raia junto à borda, a qual possui 2,5 m de largura. O leitor poderá atingir 36 cm para cada lado, devido à atenuação conforme

explicado na Seção 4.6, abrangendo assim 72 cm da raia. Desta forma não haverá interferência nas raias laterais.

Este cenário, com um leitor e um nadador por raia, é o exemplo mais simples, mas permite após realização de testes práticos, comprovar a eficácia do sistema para este fim.

A Figura 20 ilustra uma piscina com 6 raias equipada com um leitor RFId em cada raia colocado junto à borda da piscina e um nadador por raia. Demonstra também o campo de radiação da antena onde se situa o nadador.

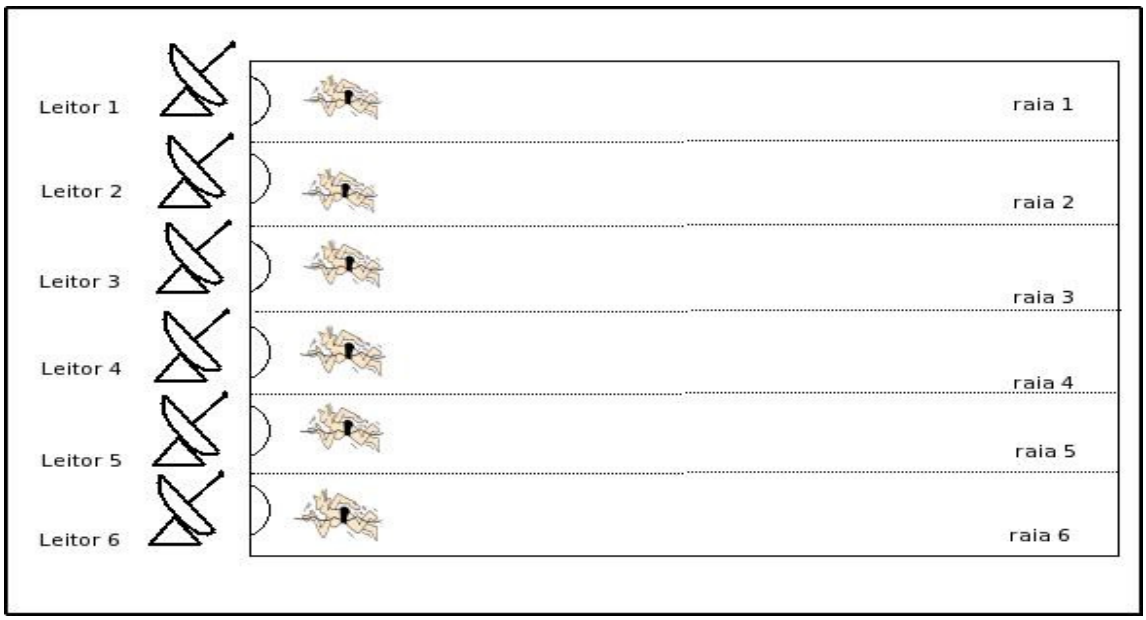

Figura 20: Piscina com 6 raias com um nadador e um leitor em cada raia.

5.2 Cenário com dois nadadores por raia e leitura em uma única borda da piscina

Neste cenário, há dois nadadores e um leitor RFId por raia. Um leitor RFId será colocado em cada raia o qual irá comunicar-se com as etiquetas que se encontram acopladas aos tornozelos dos nadadores.

Este cenário foi criado para avaliar a possibilidade de um sistema RFId realizar a leitura simultânea de dois nadadores na mesma raia da piscina, ou seja, se os dois estiverem próximos à borda da piscina simultaneamente o sistema ainda assim será capaz de realizar a leitura de ambos sem que haja conflito de informações.

Considera-se o leitor instalado no centro da raia, a qual possui 2,5 m. O leitor poderá atingir 36 cm para cada lado, devido à atenuação conforme explicado na Seção 4.6, abrangendo assim 72 cm da raia. Desta forma não haverá interferência nas raias laterais.

Em algumas piscinas são colocados mais de um nadador por raia devido a limitação de tempo e espaço que as academias possuem, desta forma surge dois ou três nadadores na mesma raia, os quais caso estiverem com uma etiqueta RFId poderão ter seus treinos monitorados.

A Figura 21 ilustra uma piscina com 6 raias, dois nadadores em cada uma delas, com um leitor RFId por raia colocado junto à borda da piscina. Demonstra também o campo de radiação da antena onde se situa o nadador.

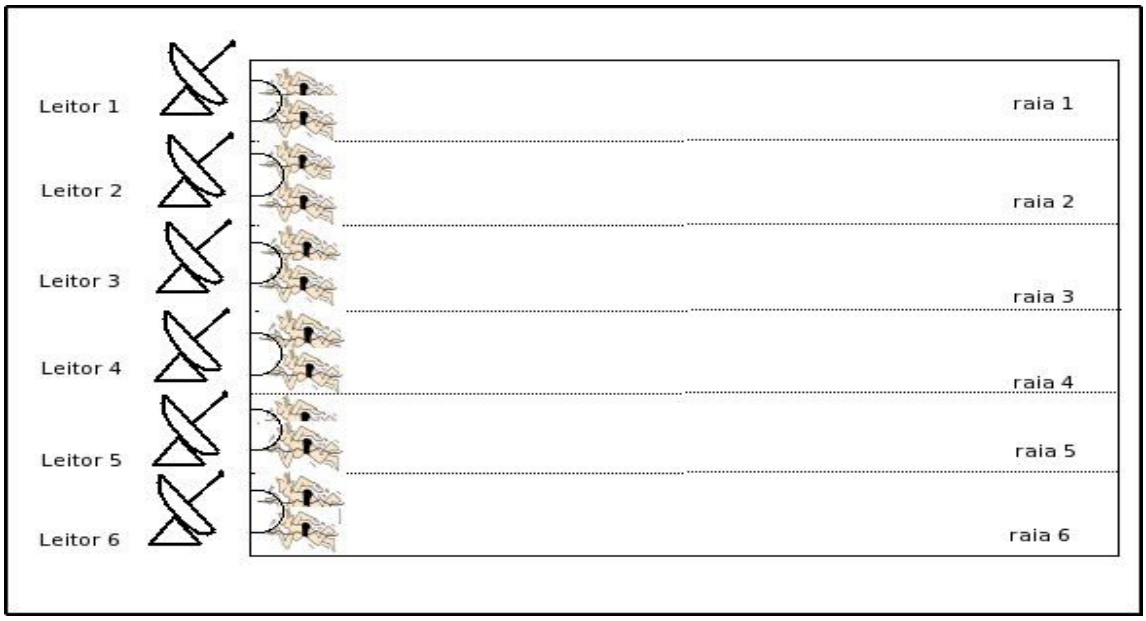

Figura 21: Piscina com 6 raias com dois nadadores e um leitor em cada raia.

5.3 Cenário com um nadador por raia e leitura nas duas bordas da piscina

Neste cenário, há um nadador por raia, e um leitor RFId por raia instalado em ambas as bordas da piscina, os quais irão se comunicar com a etiqueta acoplada ao tornozelo do nadador, submersa na maior parte do tempo, onde cada vez que o nadador entra na área de cobertura do leitor, ocorre à leitura dos dados da etiqueta. O leitor está posicionado a uma altura de 15 cm da borda, considera-se que ele poderá atingir 36 cm para cada lado, devido à atenuação conforme explicado na Seção 4.6, abrangendo assim 72 cm da raia, tal como nos

cenários anteriores. Desta forma não haverá interferência nas raias laterais. A leitura ocorrerá quando o nadador fizer a virada.

Neste caso, deverá ocorrer uma interligação entre os leitores para que o *middleware* possa calcular o tempo e a velocidade deste nadador no percurso de uma borda da piscina até a outra.

Tenta-se, neste caso, avaliar a possibilidade do *middleware* realizar o processamento dos dados de leitura do tempo e velocidade do nadador, sem que haja necessidade do mesmo realizar dois percursos, como nos casos anteriores.

Pode-se concluir que os dados neste, tipo de cenário, poderão ser coletados com maior precisão, pois a distância percorrida pelo nadador será menor, possibilitando assim, uma margem de leitura mais próxima da real.

Contudo, haverá um custo mais elevado para implementar este cenário, pois será necessário o dobro de leitores para a realização do mesmo.

A Figura 22 ilustra uma piscina com 6 raias equipada com um leitor RFId em cada raia colocado junto às duas bordas da piscina e um nadador por raia chegando até a borda da piscina. Demonstra também o campo de radiação da antena onde se situa o nadador.

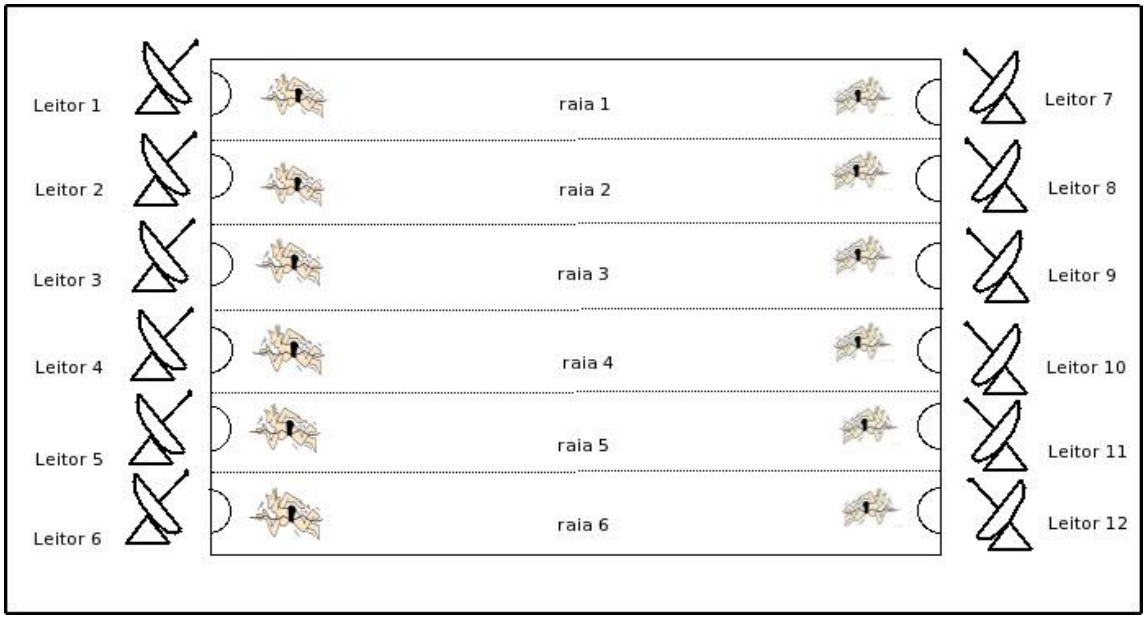

Figura 22: Piscina com 6 raias com um nadador e um leitor em cada borda.

5.4 Cenário com um leitor para realizar a leitura em duas raias simultaneamente com um nadador por raia

Considerar neste cenário, um nadador por raia, com a etiqueta acoplada em seu tornozelo, sendo que o leitor será colocado na linha divisória de duas raias a uma altura de 15 cm acima da borda da piscina. Neste cenário o leitor precisará abranger a área de cobertura de duas raias (cinco metros de largura) tendo que capturar os dados das mesmas simultaneamente. Deverá ser utilizado um leitor que tenha um raio de alcance de leitura de 1,50 m no ar, por que com o leitor de 60 cm o raio de alcance compromete a leitura. Considerando uma perda de 40% devido à mudança de meio, o sinal de 1,5 m no ar terá alcance de 90 cm neste ambiente. Devido o leitor estar instalado na linha divisória de duas raias, o mesmo irá abranger 90 cm em cada raia.

Poderão ser realizados testes com a etiqueta acoplada no punho do nadador, considerando o braço que estiver mais próximo ao leitor. Baseando-se na Figura 23, o nadador da raia 1 deve ter a etiqueta no punho esquerdo, o nadador da raia 2 deverá ter a etiqueta acoplada no punho direito e assim sucessivamente para as demais raias.

Pretende-se testar o uso do leitor para capturar dados simultâneos em um campo de abrangência maior, pois sabe-se que as raias têm 2,5 m cada uma e que o nadador estará a uma posição de 1,25 m (se considerá-lo no meio da raia) de distância do leitor. Para que ocorra a leitura dos dados da etiqueta, deverá ser sinalizada junto à borda da piscina a área de alcance do leitor para que o nadador aproxime-se dela e venha a ser identificado.

Apesar de haver uma redução de custos para a implementação deste cenário, o mesmo traz uma limitação no sistema, pois a capacidade de leitura do sistema é de 90 cm, desta forma os nadadores precisarão se aproximar da linha divisória das raias para que haja a leitura. Além disso, a precisão dos dados coletados podem não ser fidedignos caso o nadador não se aproxime a uma distância exigida para captura.

A Figura 23 mostra o leitor 1 monitorando as raias 1 e 2, o leitor 2 monitorando as raias 3 e 4 e o leitor 3 monitorando as raias 5 e 6.

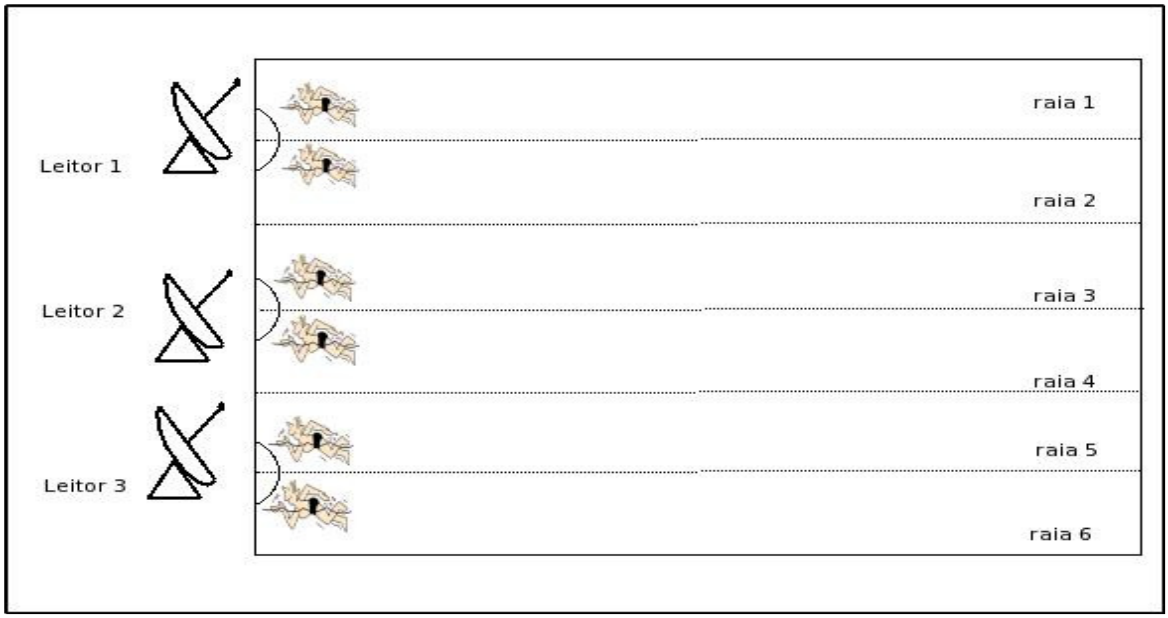

Figura 23: Piscina com 6 raias com um nadador em cada raia e um leitor para duas raias.

5.5 Cenário com uma estrutura aérea sobre a água da piscina entre as raias na qual será instalado o leitor e com um nadador em cada raia

Considerar neste cenário um nadador por raia e um leitor acima da superfície da água na linha divisória da piscina abrangendo duas raias. Neste cenário o leitor estará suspenso por uma estrutura aérea (alumínio ou outro material leve e resistente) a uns 60 cm de altura, acima da linha divisória e um pouco para dentro da piscina, em torno de uns 60 cm. Será um leitor para duas raias. A capacidade de leitura máxima desse leitor é de 90 cm assim como no cenário anterior. Haverá um nadador por raia com a etiqueta acoplada à sua touca de natação, optou-se pela touca porque a mesma está mais próxima do leitor. O leitor simultaneamente deverá capturar os dados de ambos os nadadores.

Este cenário tem o intuito de validar a aplicação nos casos em que o nadador não toque ou não se aproxime da borda da piscina a uma distância viável para a leitura dos dados.

Para um bom desempenho desse sistema, sabe-se que a altura ideal do leitor é de 10 cm e de que a proximidade entre o leitor e a etiqueta é um fator determinante para bons resultados. Através do modelo matemático realizado no Capítulo 4 chegou-se a conclusão de que o poder de captação dos dados diminui à medida que se aumenta a altura do leitor, assim como no exemplo anterior a captação dos dados podem se perder porque a distância entre o nadador e o leitor torna-se um fator limitante. O nadador precisará nadar próximo à linha divisória das

raias à medida que se aproximar do leitor para melhor captação dos dados, caso contrário, corre-se o risco de erros de leitura, ou de falhas no sistema. Pode-se perceber também que o nadador irá passar pelo leitor após sua saída, e que esta não será computada, haverá uma perda de 1 m, mas o sistema permite que esse dado seja programado e computado. No entanto estas hipóteses só poderão ser comprovadas após testes práticos.

A Figura 24 ilustra uma piscina com 6 raias equipada com três leitores RFId colocado suspenso por uma estrutura aérea. Demonstra também o campo de radiação da antena onde se situa o nadador.

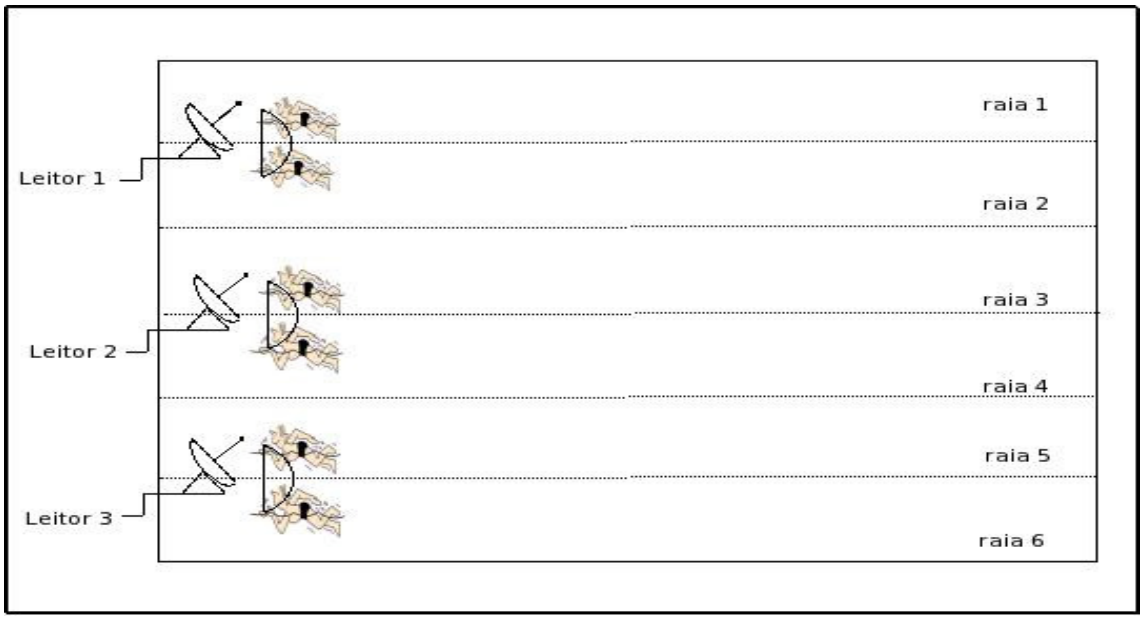

Figura 24: Piscina com 6 raias com um nadador em cada raia e um leitor aéreo para duas raias.

5.6 Cenário com um nadador descansando e um atleta nadando

Com a criação deste cenário, pretende-se testar o uso do leitor para capturar os dados de nadadores que estiverem realizando suas atividades de natação enquanto outros descansam de seus treinos na mesma raia. O que se deseja é avaliar a atividade, o tempo, o número de voltas e a velocidade mesmo quando o nadador descansa.

Neste cenário, há um nadador realizando seu treino e outro descansando, em pé, junto à borda da piscina. O leitor de RFId irá se comunicar com a etiqueta que se encontra acoplada

ao tornozelo do nadador que está treinando, no momento em que este chegar junto à área de cobertura do mesmo. A etiqueta que está acoplada ao tornozelo do nadador que está descansando não será lida pelo leitor porque a mesma encontra-se submersa a uma profundidade em torno de 1,40 m (piscina semi-olímpica). Esta distância não está dentro da área de cobertura do leitor, pois conforme os cálculos demonstrados no capítulo 4, será de 90 cm no caso de se utilizar um leitor cujo alcance é de 1,50 cm no ar.

Existem duas maneiras de considerar quanto ao nadador que está em posição de descanso: a primeira é considerar este tempo de descanso como tempo de treino e outra é desconsiderar este tempo de descanso durante a realização do treino. Cabe ao usuário configurar o software para realizar este controle.

Portanto, mesmo que o nadador esteja junto à borda em pé, e na área de cobertura do sinal, não haverá interferência, porque a distância entre a etiqueta e o leitor restringe a captação do sinal.

Havendo uma leitura correta, durante a realização dos testes práticos, os dois nadadores terão seu tempo de treino cronometrados com precisão, podendo a partir destes dados, melhorarem seu desempenho a cada treino realizado.

6 Conclusão

O monitoramento das atividades de natação utilizando a tecnologia de RFId poderá trazer benefícios aos atletas, tais como, o controle eficiente de seu desempenho a cada treino realizado, a melhoria na qualidade de vida do nadador, uma maior precisão para avaliação dos árbitros em campeonatos de natação e a diminuição no risco de falhas e injustiças neste esporte.

Ter um sistema que informe os dados do atleta referente ao seu tempo de treino e velocidade em tempo real certamente causará um impacto positivo na natação, pois normalmente existem apenas medidas subjetivas, as quais não auferem com precisão os dados do treino do nadador. Com a criação deste sistema proposto medidas qualitativas e quantitativas serão apresentadas a cada treino realizado permitindo assim que o nadador obtenha seu desempenho com maior precisão.

Atualmente, na maioria das academias não existe nenhum sistema para realizar um monitoramento de seus atletas, com a criação de um sistema como este que foi proposto, estas serão beneficiadas fazendo com que novos alunos possam ingressá-las.

Este trabalho discutiu de forma teórica como que um sistema RFId pode ser usado para monitorar as atividades de natação. Entretanto devido às considerações de atenuação do sinal se propagando em um ambiente extremamente úmido, tem-se a expectativa que esta consideração possa ter sido superdimensionada e os resultados serem melhor do que os apresentados. Isto tornaria o sistema ainda melhor e mais facilmente de ser comercialmente aceito.

Entre os fatores limitantes deste sistema destaca-se a perda de potência que ocorre quando o sinal passa de um meio para outro, neste caso do ar para a água, pois conforme demonstrado no Capítulo 5 existe uma atenuação do sinal de aproximadamente quarenta por cento.

Após a realização deste estudo sugere-se que esta tecnologia seja implantada nas

academias de natação, assim como seja utilizada nos campeonatos de natação. O Modelo 3, leitor com alcance de 1,5 m no ar e 90 cm na água, seria a melhor opção, pois contempla todos os cenários abordados. Embora, como os leitores com maior alcance têm maior valor agregado, o Modelo 2 pode ser a opção com melhor relação custo-benefício e talvez a que impulsione este mercado pouco explorado. Dentre os cenários apresentados, o mais comum será o com mais de um nadador por raia e com um leitor para cada raia. Podendo ter algumas variações, por exemplo, com um leitor em cada extremidade da raia, por ventura, durante o treino, um nadador pode permanecer por um instante descansando, já que o descanso também faz parte do treino e entre outras variações. O importante é que este sistema consegue monitorar as atividades de cada nadador, conseguindo distinguir cada nadador.

6.1 Trabalhos Futuros

O presente trabalho apresentou um estudo sobre a especificação de um sistema para monitoramento de atividades de natação usando RFId. Com base nos resultados obtidos, é possível criar um único trabalho com os itens abaixo propostos ou dividi-los em alguns tópicos, formando dois ou três trabalhos. Algumas propostas de novos trabalhos que poderão ser realizados são:

a. Realizar a implementação prática deste sistema;
b. Embarcar o sistema;
c. Criar uma interface de armazenamento do treino realizado pelo atleta, disponibilizando através de um pen-drive, cartão de memória, Bluetooth, entre outros;
d. Gerar uma interface de rede para enviar o resultado do treino por e-mail para o atleta;
e. Criar um software, baseado na internet, para acompanhar o desempenho do atleta no treino e ao longo dos treinamentos realizados, em tempo real.

Através destes estudos sugeridos é possível realizar a criação de um produto comercial, pois é visível a necessidade que o mercado apresenta nesta área.

Referências Bibliográficas

ACURA SECURITY. *LEITOR RFID.* Disponível em: <http://www.acura.com.br/acurasecurity/produtos.php?cod=3083>. Acesso em 25 Ago. 2009.

ACURA SECURITY. *ETIQUETAS RFID.* Disponível em: <http://www.acura.com.br/acurasecurity/produtos.php?cod=2061>. Acesso em 10 Set. 2009.

AHSON, S; ILYAS, M. *RFId HANDBOOK:* Applications, technology, security, and privacy. New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008. 689 p.

AKIYAMA. *RFID*. Disponível em: <http://www.akiyama.com.br>. Acesso em 25 Ago. 2009.

ANYWHERE. *RFID Anywhere*. Disponível em <http://www.ianywhere.com/products/rfid_anywhere.html>. Acesso em 16 Jul. 2009.

CURSO DE FÍSICA. *Curso de Física*. Disponível em: <http://www.cursodefisica.com.br/ondulatoria.htm>. Acesso em 14 Jun. 2009.

CURTY, Jari Pascal; DECLERCQ, Michel; DEHOLLAIN, Catherine; JOEHL, Norbert. *Design and optimization of passive UHF RFId systems*. New York, EUA: Springer, 2007. 148p.

DOBLIN, Daniel M. *The RF in RFId Passive UHF RFId in Practice*. EUA: Elsevier, 2008. 505p.

ECOJOVEN. *Tarjetas identificadoras sin contacto o sistemas RFId*. Disponível em: <http://www.ecojoven.com/dos/03/RFId.html>. Acesso em: 04 Mar. 2009.

ELETROCOM. *Electro-Com RFId solutions of SPORTS TIMING*. Disponível em: <http://www.electrocom.com.au/RFId_sportstiming1.htm>. Acesso em: 11 Mar. 2009.

EPCGLOBAL. *Regulatory status for using RFId in the UHF spectrum.* <http://www.epcglobalinc.org/tech/freq_reg/RFId_at_UHF_Regulations_20090105.pdf>. Acesso em 15 Mar.2009.

GAO RFId INC. *Etiquetas passivas*. Disponível em : <http://www.gaorfid.com/index.php?main_page=product_info&cPath=88&products_id=301> Acesso em 17 de Jun. 2009.

GLOVER, Bill; BHATT, Himanshu. *Fundamentos de RFId.* Rio de Janeiro: Alta Books Ltda, 2007. 225p.

GS1. GS1. Disponível em: <http://www.gs1.org.br/main.jsp?lumPageId=480F89A81B11709D011B136192873202>. Acesso em 13 Jun. 2009.

HISTÓRIA DO RFId. *História do RFId*. Disponível em: <http://www.RFId-weblog.com/50226711/history_of_RFId_for_all_those_who_wanted_to_know_its_past.php>. Acesso em: 04 Mar. 2009.

INFO ABRIL. Info Online. Disponível em: <http://info.abril.com.br/noticias/ti/confederacao-testa-bola-de-volei-com-chip-18052009-11.shl>. Acesso em: 19 Mai. 2009.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. *RFID: começará teste em larga escala de etiquetas inteligentes no Brasil.* Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=rfid-comecara-teste-larga-escala-etiquetas-inteligentes-brasil&id=020175090908>. Acesso em 09 de Set. 2009.

ISO. *International Organization for Standardization*. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/home.htm>. Acesso em 14 Jun. 2009.

KIMALDI. *Etiquetas RFId.* Disponível em: <http://www.kimaldi.com/kimaldi_por/productos/sistemas_rfid/lectores_rfid_y_tags_activos/tags_rfid_activos/tag_rfid_activo_sytag245_tm>. Acesso em 17 Jun. 2009.

MORERFID. *Tipos de Tags*. Disponível em: <http://www.morerfid.com/details.php?subdetail=Report&action=details&report_id=3668>. Acesso em: 10 Mar. 2009.

NISHIDA, Jonathan Ken. *Identificação por rádio frequência*. 2008. 66f. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Elétrica Telemática, Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça: Unisul, 2008.

OLIVEIRA, Alesandro de Souza; PEREIRA, Milene Franco. *Estudo da tecnologia de identificação por rádio frequência-RFID*. 2006. 83f. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Elétrica. Brasília: Universidade de Brasília, 2006.

PORTAL INDUTRIAL. *RFId (Radio Frequency IDentification - Identificación por Radiofrecuencia)*. Disponível em: <http://www.portal-Industrial.com.ar/index.php/news/main/205/event=view>. Acesso em: 04 Mar. 2009.

RFIDBUZZ. *RFID finds lost golf balls.*Disponível em: <http://www.rfidbuzz.com/news/2004/rfid_finds_lost_golf_balls.html>. Acesso em 11 Jun. 2009.

RFID-WEBLOG. *Golf made easier with RFID*. Disponível em:<http://www.rfid-weblog.com/50226711/golf_made_easier_with_rfid.php>. Acesso em 11 Jun. 2009.

RMOROZ, R. *RFID STANDARDS.* Disponível em: <http://www.rmoroz.com/rfid.html>. Acesso em 13 Jun. 2009.

ROSA, Luiz Antonio. *Aplicação do RFId na Cadeia Logística*. 2006. 54f. Monografia (MBA em Tecnologia da Informação) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa

de Educação Continuada em Engenharia. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

SANGHERA, Paul. *RFID+ Study Guide and Practice Exam*. Massachusetts, EUA: Syngress Publishing, Inc.. 2007. 326p.

SCHMITT, Patrick; MICHAHELLES, Florian; FLEISCH, Elgar. *Why RFId Adoption and Diffusion takes Time: The Role of Standards in the Automotive Industry*. Disponível em: <http://autoid.mit.edu/CS/files/folders/whitepapers/entry3001.aspx>. Acesso em: 04 Mar. 2009.

SMART CARD ALLIANCE. *Smart card alliance*. Disponível em: <http://www.smartcardalliance.org/articles/2007/11/06/2008-beijing-olympic-games-secure-with-ask-tongfang-rfid-tickets>. Acesso em 17 Jun. 2009.

SUN. *Sun RFID*. Disponível em <http://sun-rfid.dev.java.net/servlets/ProjectDocumentList?folderID=4862&expandFolder=4862&folderID=4858>. Acesso em: 16/07/2009.

VIERA, Angel Freddy Godoy ; VIERA, Sonia Dominga Godoy;VIERA, Lourdes Elizabeth Godoy. *Tecnologia de identificação por radiofrequência: fundamentos e aplicações em automação de bibliotecas*. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/eb/article/viewPDFInterstitial/430/416>. Acesso em: 04 Mar. 2009.

WIKIPEDIA. *EPCglobal*. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/RFID>. Acesso em 13 Jun. 2009.

Lista de Abreviaturas e Siglas

API Interface de programação de aplicativos (*Application Programming Interface*)

CI Circuito Integrado

CL Padrão fechado *(Closed-Loop)*

Cm centímetro

DBi Decibél Isotrópico, Unidade do ganho de uma antena

EAN Número de Artigo Internacional *(European Article Number)*

EAS Monitoramento Eletrônico de Artigos de Lojas *(Electronic Article Surveillance)*

EIRP Potência Isotrópica Efetivamente Irradiada *(Effective Isotropically Radiated Power)*

ELF Frequência Extremamente Baixa *(Extremely low frequency)*

EPC Código Eletrônico do Produto *(Eletronic Product Code)*

ETSI Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações *(European Telecommunications Standards Institute)*

EUA Estados Unidos da América *(United States of América)*

FCC Comissão Federal das Comunicações *(Federal Communications Commission)*

FHSS Espalhamento por Saltos em Frequências *(Frequency Hopping Spread Spectrum)*

GUID Identificador Único Global *(Glolally Unique Identifier)*

HD Disco rígido *(Hard Disk)*

HF Alta Frequência (*High Frequency)*

ISO Organização Internacional para Padronização *(International Organization for Standardization)*

ISM Industrial, Científica e Médica *(Industrial, Scientific, Medical)*

KHz Kilohertz

LF Baixa Frequencia *(Low Frequency)*

m Metro

ms Milissegundos

MIT Instituto de Tecnologia de Massachusetts *(Massachussets Institute of Technology)*

OL Padrão aberto *(Open-Loop)*

RF Radiofrequência

RFID Identificação por Radiofreqüência *(Radio Frequency Identificattion)*

UCC Código Comercial Uniforme *(Uniform Commercial Code)*

UHF Ultra Alta Frequência *(Ultra High Frequency)*

UPA Unidade de Processamento do Aplicativo

USB Barramento Serial Universal *(Universal Serial Bus)*

VLF Frequência Muito Baixa *(Very Low Frequency)*

W Watt