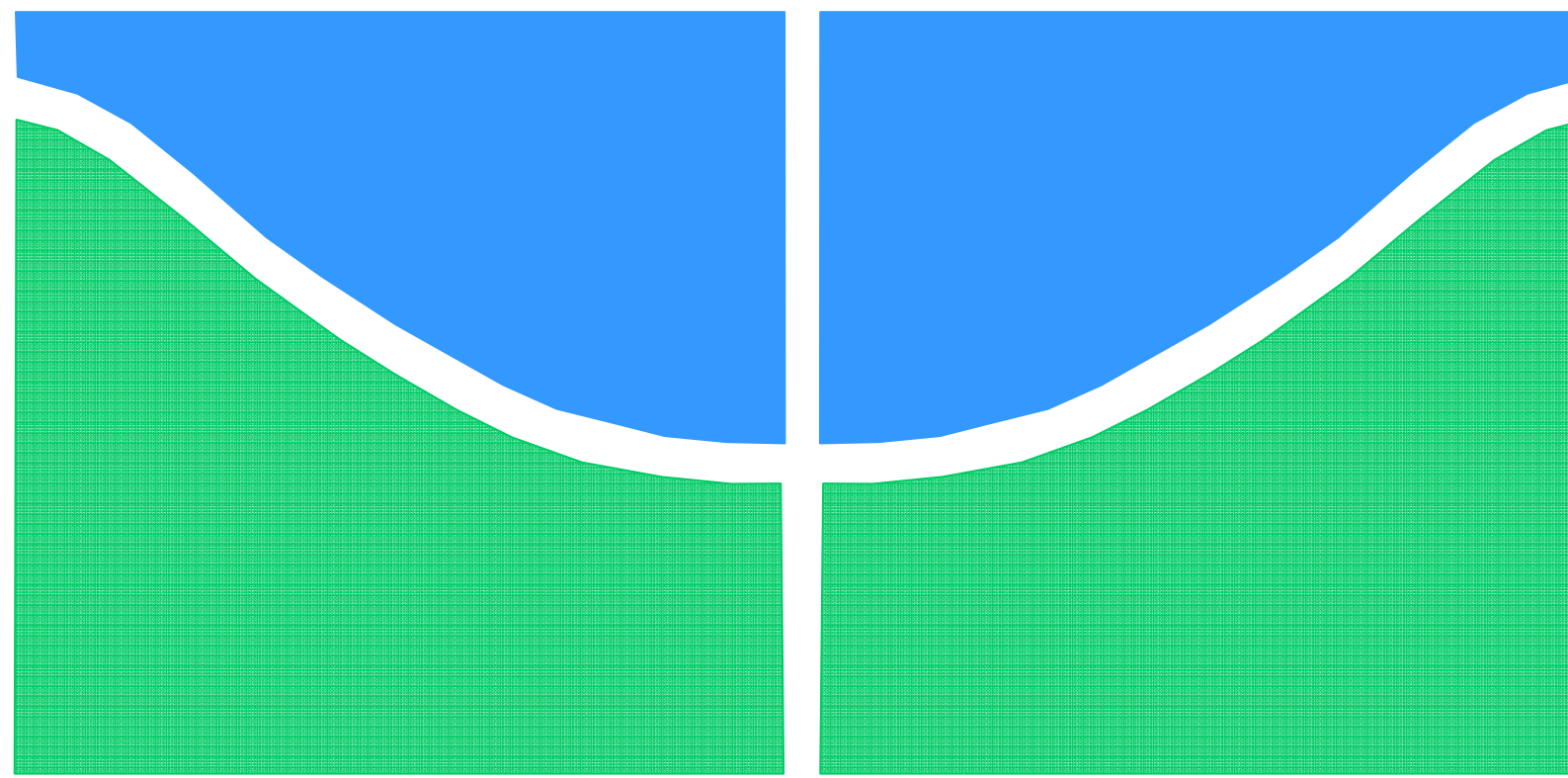


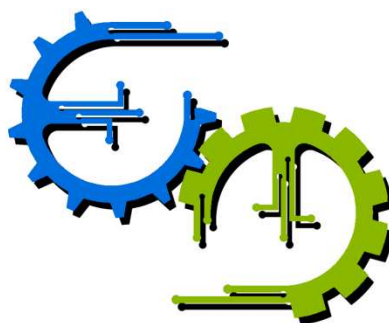


TRABALHO DE GRADUAÇÃO

SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO RFID DE USUÁRIOS VISANDO A RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA EM AMBIENTES INTELIGENTES

Lucas Oliveira da Fonseca

Brasília, Fevereiro de 2011



**ENGENHARIA
MECATRÔNICA**
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade de Tecnologia

Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO RFID DE USUÁRIOS VISANDO A RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA EM AMBIENTES INTELIGENTES

Lucas Oliveira da Fonseca

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

Banca Examinadora

Prof. Adolfo Bauchspiess, UnB/ ENE
Orientador

Prof. Geovany Araújo Borges, UnB/ ENE
Examinador interno

M. Sc. Hermano Lins de Albuquerque, Innovix
Examinador externo

Brasília, Fevereiro de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

FONSECA, LUCAS OLIVEIRA DA

Sistema de Localização RFID de Usuários Visando a Racionalização de Energia em Ambientes Inteligentes

[Distrito Federal, 2011]

63p., 297 mm (FT/UnB, Engenheiro, Controle e Automação, 2011). Trabalho de Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

1. Automação

3. Redes Neurais

2. Conforto térmico

I. Mecatrônica/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FONSECA, Lucas Oliveira da, (2010). Sistema de localização RFID de Usuários Visando a Racionalização de Energia em Ambientes Inteligentes. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação **FT.TG-nº XX**, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 63p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Lucas Oliveira da Fonseca.

TÍTULO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO: Sistema de localização RFID de Usuários Visando a Racionalização de Energia em Ambientes Inteligentes.

GRAU: Engenheiro de Controle e Automação

ANO: 2011

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

AGRADECIMENTOS

*Primeiramente, sempre, agradeço à minha família,
que sempre foi meu grande pilar, desconhecendo tempo e distância.*

*Ao meu orientador cujas lições, com exemplos, conselhos e aulas,
foram além do controle e sistemas inteligentes.*

Aos professores que compartilharam seus conhecimentos.

Aos colegas pelas madrugadas de estudos e companheirismo.

Aos amigos, que fizeram com que a jornada fosse o objetivo.

Lucas Oliveira da Fonseca

RESUMO

O projeto Ambientes Inteligentes no Laboratório de Automação Robótica da Universidade de Brasília estuda formas de racionalização de energia e conforto térmico por automação predial. Este trabalho está contido nesse contexto. O objetivo é desenvolver um sistema de localização de usuários em um ambiente predial utilizando tecnologia *Radio Frequency Identification* (RFID) e redes neurais artificiais. Com a informação do ambiente em que o usuário está localizado, o sistema supervisor de refrigeração pode decidir quais aparelhos de ar condicionado acionar e quais desligar. Por exemplo, se uma sala estiver vazia, o aparelho desliga. Se houver pessoas no ambiente, o sistema aciona o ar condicionado. Este trabalho foca na tarefa de localização.

São utilizados equipamentos RFID ativos em três ambientes do laboratório. Mais de 1700 conjuntos de dados de *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) das leitoras RFID são coletados para treinar uma rede neural artificial Perceptron Multicamadas. A localização exata é feita com erro médio de 1,5 m, além de acerto de 83% dos casos quando se trata de acertar apenas o ambiente onde o usuário está, e não a posição específica. Conclui-se que o sistema pode ser usado para a finalidade proposta, mas é preciso mais desenvolvimento. Ao final são feitas sugestões para trabalhos futuros.

Palavras-chave: RFID, localização, redes neurais artificiais, perceptron multicamadas, filtro de Kalman, ambientes inteligentes, conforto térmico, racionalização de energia.

ABSTRACT

The Ambient Intelligence project of the University of Brasília's Automation and Robotics Laboratory studies ways for energy saving and thermal comfort through building automation. This work is inserted in this context. The goal is to develop a user location system in a building environment using Radio Frequency Identification (RFID) technology and artificial neural networks. With the information of the room where the user is, the refrigeration supervisory system can decide which air conditioning equipment to turn on and off. For example, if a room is empty, the equipment turns off. If there are people in the room, the equipment turns on. This work focuses on the location task.

Active RFID equipment is used in three rooms in the lab. Over 1700 data packets of Received Signal Strength Indicator (RSSI) are collected to train a multilayer perceptron artificial neural network. The exact location is acquired with the mean error of 1,5 m, besides the 83% accuracy for telling only the room the user is, and not the exact location. The conclusion is that the system can be used for the proposed end, but more development is needed. At the end, some suggestions are made for future works.

Key-words: RFID, location, artificial neural networks, multilayer perceptron, Kalman filter, ambient intelligence, thermal comfort, energy saving.

Sumário

FICHA CATALOGRÁFICA.....	III
CESSÃO DE DIREITOS.....	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
1. Introdução.....	1
1.1. Eficiência energética	2
1.2. Automação Predial.....	5
1.3. Conforto Térmico	7
2. Introdução Teórica.....	10
2.1 RFID	13
2.2 RSSI (Received Signal Strength Indicator)	18
2.3 Redes Neurais Artificiais	20
2.3.1 Perceptron multicamadas.....	21
3. Experimento de Localização RFID	22
3.1 L-A900 Wave Ethernet	23
3.2 Antena L-N200 Stub	24
3.3 Wave L-T501	24
3.4 Instalação no LARA.....	25
3.5 Ferramentas computacionais	27
4. Testes	27
4.1 Teste 1: Distância x RSSI com uma leitora e uma <i>tag</i>	28
4.2 Teste 2: Comparação entre <i>tags</i> em movimento e em repouso	30
4.3 Teste 3: Comparação entre diferentes orientações de uma mesma <i>tag</i>	31
4.4 Teste 4 : Comparação entre <i>tags</i> diferentes.....	31
4.5 Teste 5: análise de longa duração.....	32
5. Software desenvolvido.....	33
5.1 Coleta de dados.....	35
5.2 Pré-processamento dos Sinais	40
5.3 Treinamento da Rede Neural Artificial	40
6. Resultados.....	41
7. Conclusões	45
7.1 Sugestões para trabalhos futuros	46
Bibliografia	47

APÊNDICES	50
APÊNDICE A.....	50
APÊNDICE B	51

Lista de Figuras

Figura 1 - Fontes de energia elétrica no Brasil (É a Segurobrás, 2010)	3
Figura 2 - Consumo de energia elétrica em prédios comerciais no Brasil (LAMBERTS, 2010)	4
Figura 3 - Consumo de energia elétrica em prédios públicos no Brasil (LAMBERTS, 2010)	4
Figura 4 - PMV x PPD.....	9
Figura 5 - Principais frequências de operação de <i>tags</i> RFID.....	17
Figura 6 - Perda de potência com o quadrado da distância (HECHT, 2002)	Erro! Indicador não definido.
Figura 7 - Decaimento da potência de um sinal de rádio com a distância	19
Figura 8 - Ilustração de caminhos múltiplos.	20
Figura 9 - Estrutura de um neurônio biológico (PACKTER)	20
Figura 10 – Estrutura básica de um neurônio artificial.....	21
Figura 11 - Perceptron multicamadas (FIRAT, 2007)	22
Figura 12 - Leitor RFID L-A900 Wave Ethernet	23
Figura 13 - Diagrama de radiação no plano horizontal.....	24
Figura 14 - <i>tag</i> RFID Wave L-T501_A	24
Figura 15 - Instalação inicial das leitoras RFID no LARA que causada grande perda de pacotes	26
Figura 16 - Instalação definitiva das leitoras no LARA	26
Figura 17 - Posição das <i>tags</i> e leitora no teste 1.	28
Figura 18 - Teste 1.1, Distância (m) x RSSI	29
Figura 19- Teste 1.2, Distância (m) x RSSI.....	29
Figura 20 – Teste 2: Leitora x Média de RSSI	30
Figura 21 - Teste 3: orientação da <i>tag</i> . Leitora e período de envio. X Média de RSSI.....	31
Figura 22 – <i>Tags</i> e Leitoras x média de RSSI	32
Figura 23 - RSSI lido ao longo do fim de semana	33
Figura 24 – Interface gráfica do software desenvolvido para comunicação entre as leitoras e o MatLab	35
Figura 25 – Os pontos amarelos são os locais do laboratório onde pacotes de dados de RSSI foram coletados.....	36
Figura 26 - RSSI médio medido no laboratório pela Leitora 0.	37
Figura 27 - RSSI médio medido no laboratório pela Leitora 1.	38
Figura 28 - RSSI médio medido no laboratório pela Leitora 2.	38
Figura 29 - RSSI médio medido no laboratório pela Leitora 3.	38
Figura 30 - RSSI médio medido no laboratório pela Leitora 4.	39
Figura 31 – Definição de classes ambiente visando a posição dos aparelhos de ar condicionado.	39
Figura 32 - Pontos escolhidos para validação.	41
Figura 33 - Erros das redes nos 12 pontos escolhidos para validação.....	42
Figura 34 - Erros médios das redes com relação à distância	42
Figura 35 - Índice de acertos (%) da rede neural para ambientes com 3 a 7 neurônios na camada oculta.	43
Figura 36 - Ilustração de overfitting (FAGAN).....	44
Figura 37 - Ilustração de underfitting	44
Figura 38 - Ambiente 4.....	45

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Índice de conforto proposto por Fanger (FANGER, 1970)	8
Tabela 2 - Campos e funções do software desenvolvido.....	34
Tabela 3 - Amostra dos conjuntos de dados coletados para treinamento.....	37
Tabela 4 - Índice de acerto das redes neurais treinadas para ambientes.	43
Tabela 5 - Erros médios de cada rede treinada e testada	44
Tabela 6 - Amostra de dados (valores de RSSI) coletados na sala de reuniões com a configuração inicial das leitoras no LARA.	50

Lista de símbolos

K	Kilo
M	Mega
G	Giga
m	Metro
cm	Centímetro
s	Segundo
Hz	Hertz
W	Watt

Lista de siglas

LARA	Laboratório de Automação e Robótica
RFID	Radio Frequency Identification (Identificação por Radiofrequência)
UnB	Universidade de Brasília
FK	Filtro de Kalman
EKF	Extended Kalman Filter (Filtro de Kalman Estendido)
AP	Access Point (Ponto de acesso)

1. Introdução

Desperdício de energia é um problema real que atinge a maioria das organizações atualmente, e há muito tempo profissionais e pesquisadores buscam soluções para aumentar a eficiência energética. Um dos pontos mais abordados diz respeito a conforto térmico em ambientes prediais, pois refrigeração é um dos campos onde há mais desperdício. Além disso, conforto térmico pode melhorar o ambiente de trabalho, aumentando, inclusive, a produtividade dos funcionários (SILVA, 2001). No Laboratório de Automação e Robótica (LARA) da Universidade de Brasília (UnB) existe um projeto chamado Ambientes Inteligentes. Esse projeto lida com, entre outros assuntos, racionalização de energia em ambientes prediais automatizando o sistema de ar condicionado. Este trabalho é parte do projeto Ambientes Inteligentes do LARA, e visa auxiliar a automatização do sistema de refrigeração do laboratório. O objetivo é localizar os usuários nos ambientes do LARA e controlar os aparelhos de ar condicionado baseando-se nas informações de localização. Por exemplo, um aparelho não deve ficar ligado se não houver ninguém no ambiente, e deve aumentar a potência caso haja muita gente no ambiente.

1.1. Eficiência energética

Cada vez fica mais claro como a preservação do meio ambiente é importante e deve estar presente em todas as atividades. Encontros internacionais de líderes como os que ocorreram no Rio de Janeiro em 1992, em Kyoto em 1997 (Protocolo de Quioto, 2010), e em Copenhague em 2009 (COP 15, 2010) demonstram como esse assunto é premente. Já é sabido que o modo como a humanidade tem vivido não é sustentável, e fala-se inclusive em colapsos e “apagões” energéticos em escala global nos próximos anos. No Brasil esse termo já é bem conhecido desde 2001, quando houve uma falha no sistema de distribuição de energia elétrica devido à, principalmente, falta de chuvas (Crise do apagão, 2010). Mais recentemente, um problema nas linhas de transmissão de Itaipu causou falhas nos sistemas de distribuição de 18 estados brasileiros em novembro de 2009, possivelmente causado por condições meteorológicas adversas, de acordo com o então secretário do Ministério de Minas e Energia Márcio Zimmermann (Problema em Itaipu causa apagão em 18 Estados do País, 2009); e em fevereiro de 2011 um defeito na subestação de Pernambuco provocou falhas de energia em 8 estados do nordeste (Defeito em subestação de PE causou apagão no Nordeste, diz Chesf, 2011).

Esse acontecimento levantou muitos questionamentos quanto ao assunto. As conclusões mais óbvias foram de que o Brasil precisava urgentemente de mais investimentos no setor de Distribuição e Geração de Energia, DGE. Entretanto também falou-se muito em economia de energia. A crise energética atinge o planeta inteiro. Além de “apagões”, ela pode causar problemas ainda mais graves, como guerras e conflitos armados.

Há varias matérias primas para gerar energia. Algumas usinas usam recursos não renováveis, como carvão, que é queimado em termoeletricas. Outras usam recursos renováveis, como energia eólica ou hidráulica. A razão pela qual o Brasil sofreu tanto em 2001 pela falta de chuvas foi, porém, que o país depende fortemente de hidrelétricas para geração de energia elétrica. O país é responsável por 10% da energia hidrelétrica gerada no planeta (Porque precisamos da Usina de Paulo Afonso V, 2010) e, internamente, ela corresponde a 68,1% de toda energia elétrica gerada conforme a Figura 1 mostra.

Apesar de tudo isso, e da energia hídrica ser um recurso renovável, existem ressalvas à instalação indevida de novas usinas hidrelétricas. Sempre deve haver um amplo estudo do impacto ambiental. Muitos habitat são destruídos e frequentemente comunidades se veem forçadas a se deslocarem permanentemente para outras regiões. Por essas razões a economia de energia se torna ainda mais importante.

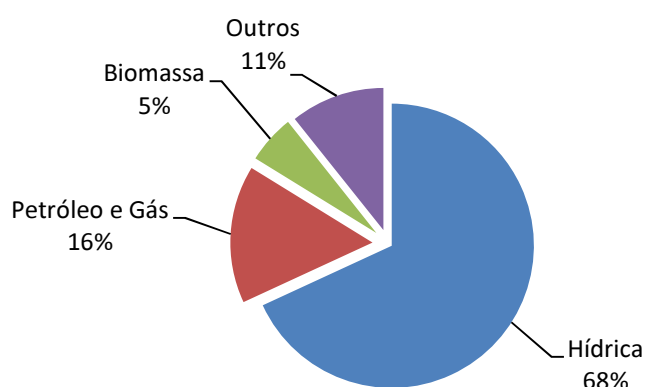


Figura 1 - Fontes de energia elétrica no Brasil (É a Segurobrás, 2010).

Para que a economia de energia seja eficaz é necessário saber quais agentes influenciam mais os gastos. De acordo com a Figura 2 e a Figura 3, o maior consumo de energia elétrica nos prédios públicos, comerciais e de escritórios do Brasil deve-se a aparelhos de ar condicionados.

Esses últimos, de fato, costumam ter o maior peso nas contas de energia elétrica. Um aparelho de 30.000 Btus, por exemplo, trabalha a uma potência de 3160 watts (Ar Condicionado Split Springer Carrier 30.000 btus). Para servir como comparação, um computador tem uma potência média de 120 watts e uma lâmpada incandescente de 60 watts (Tabelas de consumo/eficiência energética).

Com base nessas informações, percebe-se que, se a utilização do ar condicionado fosse mais consciente e eficiente, poderíamos obter uma grande economia energética, financeira e consequente preservação ambiental. Há varias formas pelas quais esse objetivo poderia ser alcançado. Este trabalho propõe a utilização inteligente e automatizada do sistema de ar condicionado predial utilizando a informação da localização das pessoas nos ambientes.

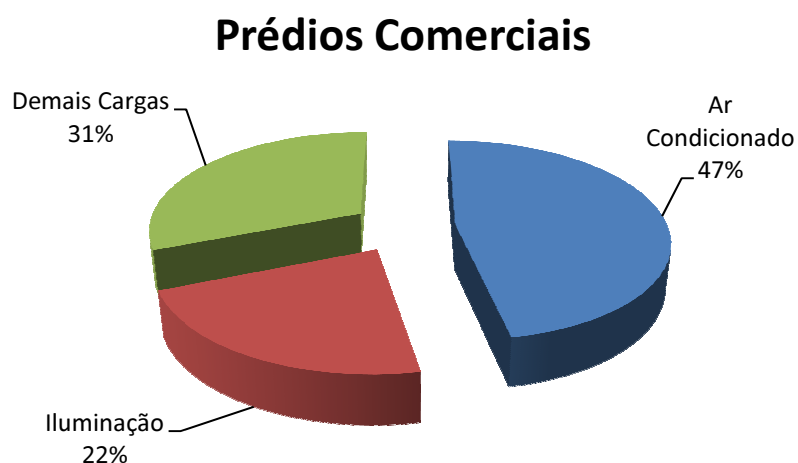


Figura 2 - Consumo de energia elétrica em prédios comerciais no Brasil (LAMBERTS, 2010).

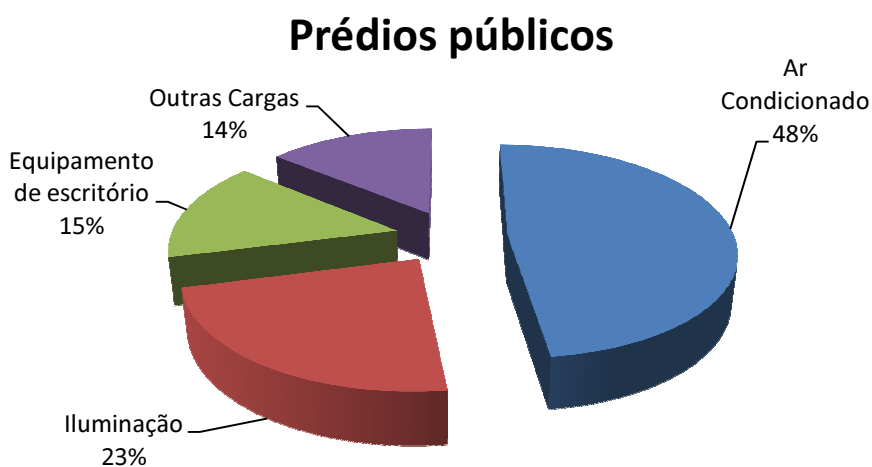


Figura 3 - Consumo de energia elétrica em prédios públicos no Brasil (LAMBERTS, 2010).

1.2. Automação Predial

Um dos principais fatores que influenciaram e sempre influenciarão o desenvolvimento tecnológico é o aumento de produtividade. Este é um dos principais aspectos buscados pelos gestores de empresas. No entanto, as pessoas começaram a perceber que a tecnologia podia não somente ajudá-las a fazer seus trabalhos com maior eficiência, mas também proporcionar maior conforto e, consequentemente, maior qualidade de vida.

Ao notar um ambiente muito quente, uma pessoa deve ajustar o ar condicionado para resfriá-lo, ou, caso tenha se tornado muito frio, reajustá-lo. Ou ainda, consideremos uma empresa que funcione com horário fixo, e todos os dias o primeiro funcionário que chega aciona o ar condicionado às 8h, e o último que vai embora desativa às 18h. Seria mais prático se o ambiente pudesse se antecipar a estas necessidades e atendê-las de forma automatizada. Caso isso fosse possível, os ocupantes não teriam de desviar a atenção de seus afazeres para tornar o ambiente mais confortável ou produtivo.

Pôde-se notar, então, que, quando se trata de conforto, não se pode pensar apenas nas variáveis do ambiente a serem controladas, mas deve-se focar na eficiência de tal controle em relação à atenção requerida por parte dos usuários.

Pensando nisso, no final da década de 90, pesquisadores da Phillips adotaram outra perspectiva sobre o assunto: não são os usuários que devem se adequar aos ambientes e às novas tecnologias sendo desenvolvidas. Ao contrário, são os equipamentos que devem se adaptar ao dia-a-dia do usuário, focando-o. Trabalhando com esta nova forma de abordagem do problema, eles chegaram então ao conceito de ambientes inteligentes.

O conceito de ambientes inteligentes possui três importantes bases (AARTS, HARWIG e SCHUURMANS, 2001):

- Ubiquidade – Quando tratamos de computação ubíqua, referimo-nos à capacidade do usuário de conectar-se a rede de comunicação, e fazer uso desta, a todo instante. No contexto de Ambientes Inteligentes, isso significa que o usuário estará cercado de inúmeros sistemas integrados e interconectados.
- Transparência – Esta característica diz que os sistemas que envolvem o usuário estão mesclados com a redondeza, tornando sua presença imperceptível. Desta forma, os indivíduos podem desfrutar dos benefícios sem nem sequer perceberem os equipamentos disponíveis.

- Inteligência – Provavelmente esta é a característica mais importante dos ambientes inteligentes, pois dita como eles vão se relacionar com o usuário. Em primeiro lugar, tais sistemas devem ser cientes do contexto, reconhecendo o usuário e a situação em que se encontra. Voltando ao conceito de design focado no usuário, estes ambientes devem ser adaptativos, modificando-se em resposta ao usuário. Além disso, devem ser capazes de se antecipar às necessidades e desejos dos presentes, satisfazendo-os sem mediação consciente por parte destes. Enfim, estes sistemas devem ser também personalizados, pois cada indivíduo tem preferências diferentes a serem atendidas, de forma que o ambiente deve aprender com o comportamento de cada um.

No entanto, o conceito de Ambientes Inteligentes é extremamente difícil de ser aplicado completamente. Para auxiliar neste desafio, focamos no conceito de Automação Predial, responsável pela realização de alguns dos aspectos dos ambientes inteligentes.

A Automação Predial consiste em um sistema de controle, distribuído ou centralizado, que compreende diversos sensores e atuadores em rede agindo em conjunto para atingir determinados objetivos dentro de uma edificação.

As principais funcionalidades focadas por tais sistemas são: a manutenção do conforto térmico, o controle de iluminação baseada na ocupação dos cômodos e o monitoramento do próprio sistema, de forma a notificar a equipe responsável do prédio quando se fizer necessário efetuar ajustes ou reparos. Além disso, a Automação Predial prevê uma melhoria na utilização de recursos, proporcionando, entre outros benefícios, a diminuição do consumo de energia elétrica.

No entanto, a Automação Predial, por sua vez, apresenta outros desafios a serem vencidos. O sistema deve reconhecer cada usuário e sua localização dentro do edifício. Além disso, o sistema deve ser capaz de ajustar os ambientes do prédio às características pessoais de cada usuário: seja conhecendo seu padrão comportamental, observando seus horários e rotinas, ou através de suas características físicas, já que diferentes pessoas sob diferentes circunstâncias têm necessidades de conforto térmico diferentes.

Os aspectos de localização e conforto térmico ainda serão abordados com maior profundidade ao longo deste trabalho.

1.3. Conforto Térmico

Em algumas situações, devido à influência de diversos fatores, as pessoas não se sentem confortáveis com a temperatura ou com a umidade do ambiente em que se encontram. A partir daí surgem as tecnologias de aquecimento ou de resfriamento do ambiente para que se produza uma maior sensação de bem estar com relação àquele ambiente, ou seja, o conforto térmico.

Existem várias normas que definem conforto térmico, mas a norma 7730 (Ambientes térmicos moderados – Determinação dos índices PMV e PPD e especificação das condições de conforto térmico) (SUCH, 2009), que será utilizada neste trabalho, define conforto térmico como: “Um estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente que envolve uma pessoa (nem quente nem frio).” Ainda segundo esta norma, o conforto térmico pode sofrer alterações devido a uma série de fatores como: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade relativa do ar, umidade relativa do ar ambiente, tipo de vestimenta e tipo de atividade física executada (SUCH, 2009).

O conceito de conforto térmico é de extrema importância em algumas situações. Pesquisas mostram que empresas que investiram em proporcionar um maior conforto térmico aos seus funcionários, tiveram aumento no rendimento e nos lucros. Os funcionários ficaram mais satisfeitos, demonstrando uma forte ligação entre o conforto e produtividade (SILVA, 2001).

Apesar de em muitas situações o conforto ser de segunda necessidade, em alguns casos pode se tornar um mecanismo de maior eficiência para uma empresa.

1.3.1. PMV

O índice PMV, proposto por Fanger em 1970, é utilizado para demonstrar o nível de conforto térmico a partir das variáveis: temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do vento e umidade do ar, nível de atividade física e tipo de vestimenta. Tem medida numérica que varia de +3 e -3 que significam muito quente e muito frio, respectivamente; e o valor 0 significa ambiente confortável (SUCH, 2009).

Na Tabela 1 pode-se ver o índice de conforto proposto por Fanger.

Tabela 1 - Índice de conforto proposto por Fanger (FANGER, 1970).

PMV	Conforto
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Morno
0	Confortável
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Para evidenciar o fenômeno do conforto térmico, Fanger elaborou uma série de experiências que relacionavam o conforto térmico e carga térmica. Para tal experimento, mais de 1300 pessoas foram submetidas a variações de temperatura, onde eram mantidas as variáveis constantes por 3 horas e a cada 30 minutos cada pessoa expressava sua sensação térmica por meio de voto de acordo com uma tabela já estabelecida. Desta forma, Fanger formulou uma equação matemática por meio de voto, denominada Predicted Mean Vote (Voto Médio Estimado).

Notou-se com o experimento que em algumas situações existia um índice de insatisfação térmica e, portanto outro índice foi proposto, o PPD “Predicted Percentage Dissatisfied”.

Outra situação observada por Fanger em seus experimentos foi que quando as pessoas estão em diversas localizações o índice de insatisfação térmica é alto, sendo praticamente impossível manter o conforto térmico de todos. Por isso foi estabelecida uma relação entre PPD e PMV representada numa tabela no plano PMV X PPD, que desenha uma curva simétrica com relação à origem do eixo PMV exatamente no ponto 0 em que as pessoas estão mais satisfeitas termicamente. Essa curva pode ser vista na Figura 4 (SHINODA e SANTOS, 2010).

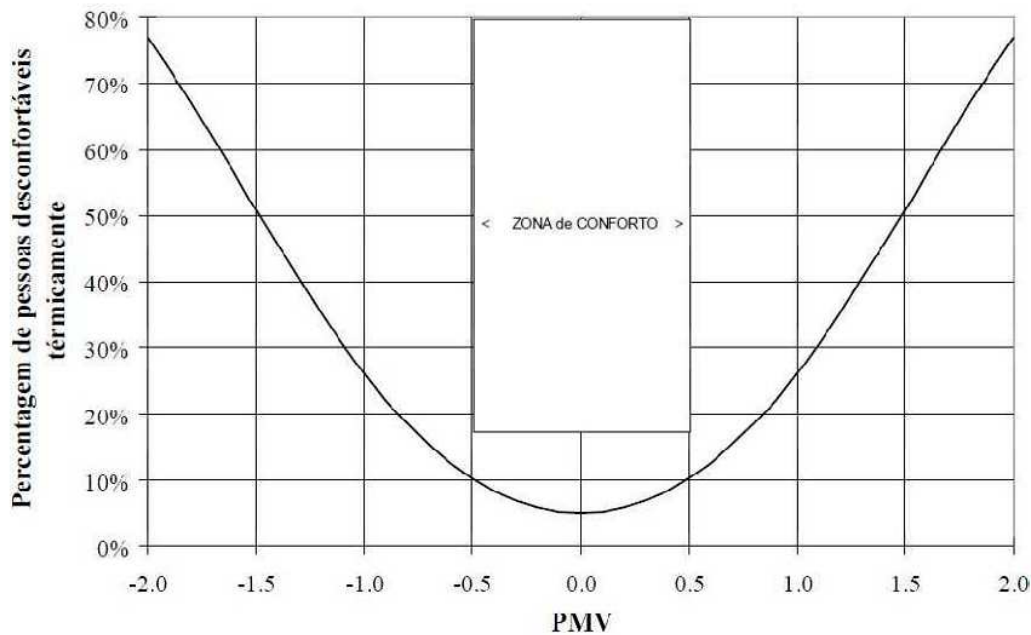


Figura 4 - PMV x PPD

Este trabalho foca na tarefa de localização dos usuários nos ambientes do LARA, e utiliza-se do sinal de potência de equipamentos de *Radio Frequency Identification (RFID)*. Existem muitos problemas com relação a essa abordagem que são descritos durante este trabalho, e por isso não foi possível localizar a posição exata do usuário, porém o principal objetivo é localizar o ambiente em que o usuário está. Será montado um sistema piloto para experimento. Devido aos problemas citados, não foi possível mapear todo o LARA, mas uma pequena parte com três ambientes, e um aparelho de ar condicionado para cada.

Neste capítulo foi apresentada a motivação para o projeto Ambientes Inteligentes e para este trabalho.

No capítulo 2 é apresentada uma introdução teórica aos conceitos utilizados e sobre redes neurais, a abordagem usada.

No capítulo 3 são apresentados os equipamentos utilizados neste experimento, suas vantagens e limitações, e como foram montados no LARA, além dos algoritmos utilizados.

No capítulo 4 são feitos alguns testes com os equipamentos que são relevantes para a proposta desse trabalho, e que auxiliam a entender melhor a tecnologia e os equipamentos específicos utilizados.

No capítulo 5 é apresentado o software desenvolvido para este trabalho e como ele foi utilizado para coletar os dados, treinar a rede neural e calcular a localização do usuário.

No capítulo 6 os resultados do experimento são apresentados.

No capítulo 7 é feita uma análise crítica da viabilidade do sistema para a finalidade proposta.

2. Introdução Teórica

Técnicas de localização de pessoas ou objetos têm sido utilizadas há muito tempo para os mais variados fins. Desde radares em aviões para maior segurança na rota, até o sistema de GPS (*Global Positioning System*), que funciona por triangulação com satélites. A tecnologia está se popularizando tanto que já existem muitos modelos de aparelho celular com GPS integrado. É possível calcular a melhor rota de carro em uma cidade, levando em consideração, inclusive, o tráfego, além de pesquisar lojas e serviços como bancos, restaurantes ou hospitais.

Entretanto para a proposta deste trabalho o GPS não satisfaz porque o sinal do satélite não consegue atravessar as paredes de um edifício, e é preciso uma solução para interiores. A localização em interiores também já foi e é atualmente amplamente estudada no ramo da robótica móvel. Existem muitos sistemas de localização em robôs para interiores, mas muitos são inviáveis para uso por pessoas. Isso acontece porque é inconveniente para uma pessoa carregar um dispositivo pesado e/ou grande. Se a pessoa tiver que carregar algo, deve ser um objeto pequeno e leve, de preferência que ela nem perceba, como um microchip, ou que seja algo que ela já utilize, como o celular ou um crachá.

Abaixo algumas tecnologias de localização, juntamente com vantagens e desvantagens.

- Indoor GPS. Tem esse nome porque, assim como o sistema GPS tradicional, também funciona com alguns transmissores enviando mensagens em apenas um sentido para o receptor móvel. Os transmissores, que funcionam com bateria, usam laser e luz infravermelha para se comunicarem com o receptor. Eles enviam informações sobre localização e altitude. O receptor então, recebendo essas informações de pelo menos dois emissores, é capaz de calcular sua localização no ambiente com grande precisão. Essa grande precisão é, justamente, a grande vantagem desse sistema, que pode chegar a 1 cm de erro. Por outro lado, o Indoor GPS necessita que o receptor esteja em uma linha de visão de todos os transmissores. Em outras palavras, não pode haver nenhum obstáculo sólido numa linha reta entre o receptor e qualquer um dos emissores. Isso torna a escolha inviável para um ambiente constantemente mutável. Outra desvantagem é o preço. Apenas o transmissor custa em torno de 10.000 dólares americanos, e um receptor em torno de 5.000 dólares. Outro fator que invia-

biliza a aplicação neste projeto, pois seriam necessários de mais de três transmissores e dezenas de receptores (KHOURY e KAMAT, 2008).

- UWB, Ultra Wide Band (Banda Ultra Larga, do inglês). Um sistema UWB consiste em um processador hub, quatro ou mais receptores, uma ou mais *tags* de referência e *tags* individuais para cada pessoa ou ativo a ser monitorado. Cada *tag* fica enviando trens de pulsos com banda de mais de 1 GHz. Usando de informações de calibração da *tag* de referência, e “time-of-arrival”, ou tempos de chegada dos trens de pulsos, o sistema é capaz de calcular a localização de uma *tag* com grande precisão. Com três ou mais receptores em contato com a *tag* é possível obter a localização 2D dela, e com quatro ou mais receptores é possível obter a localização no espaço 3D. A precisão de um sistema com esta tecnologia não é tão boa quanto de um Indoor GPS, entretanto ainda é boa o bastante para este projeto, variando de 10 a 50 cm. Outra vantagem é que o sistema não necessita de calibração. Por outro lado, assim como o Indoor GPS, o preço é muito elevado. Um receptor custa em torno de 2.200 dólares americanos, um hub em torno de US\$5.200 e uma *tag* individual pode variar de 40 a 125 dólares (KHOURY e KAMAT, 2008).
- Wi-Fi. Wi-Fi é a tecnologia de redes sem fio que usa a rede 802.11 e que é tão popular em prédios residenciais, comerciais e industriais por sua capacidade de transmissão de dados, área de cobertura e acessibilidade. A técnica de localização utilizando esta tecnologia consiste nas medições de RSSI (Received Signal Strength Indicator) de todos os Access points (AP) com relação a uma *tag*. O RSSI indica a perda de potência de um sinal ao viajar pelo espaço, portanto com base nesse indicativo é possível estimar a distância da *tag* ao AP e, então, é feito o cálculo por triangulação para se obter a posição da *tag*. O sistema de localização da empresa Ekahau funciona assim, e tem boa aceitação no mercado. Ele trabalha com algoritmos proprietários usando várias variáveis. Entretanto esse sistema exige uma calibração muito criteriosa, que pode ser muito demorada, difícil ou até impossível de se obter bons resultados. A calibração pode usar o conceito de redes neurais. Após todos os aparelhos estarem instalados, são feitas extensivas medições de calibração em muitos pontos do ambiente, treinando o sistema a armazenar aquele conjunto de medidas, de todos os APs, como sendo referente àquele local específico. Isso é necessário porque o RSSI não é uma medição constante, podendo haver diferentes locais onde uma mesma *tag* possui o mesmo RSSI para um dado AP. Isso acontece principalmente por causa dos caminhos múltiplos e atenuação, ou seja, um sinal do emissor pode chegar ao receptor por vários caminhos diferentes dependendo do ambiente, dos objetos, das pessoas presentes e de vários fatores. Cada caminho diferente vai resultar em uma atenuação de sinal diferente, e, conseqüentemente, vá-

rios sinais de RSSI diferente devem chegar ao receptor. Por isso usam-se mais APs. Quanto mais APs menor a probabilidade de todos indicarem o mesmo RSSI para a mesma *tag* em diferentes pontos. Outra desvantagem é que o sistema deve ser recalibrado caso haja mudanças significativas no ambiente, como a adição ou remoção de paredes ou grandes objetos, ou ainda um remanejamento dos móveis. As vantagens desse sistema são a grande praticidade: muitas vezes a rede Wi-Fi já existe no ambiente. Além disso, é possível haver trocas de informações com as *tags* e entre os APs com muita facilidade e todos os softwares são bem simples. Como dito anteriormente, a área de cobertura também é favorável: um único AP pode ter uma cobertura de raio de até 100m. Por esses motivos esse é um sistema muito barato. Porém a precisão não é muito satisfatória, ficando em torno de 1,5 a 2 m (KHOURY e KAMAT, 2008).

- ZigBee. ZigBee foi desenvolvido e homologado em 2003 com o objetivo de ser um padrão de controle seguro, baixo consumo e baixo custo para muitas aplicações. Foi criado por uma associação de mais de 45 empresas e é uma alternativa para redes que não precisam de soluções completas. Por seu baixo custo e simplicidade é uma alternativa interessante para localização, e já foi usado com esse propósito utilizando-se de triangulação por RSSI (SHINODA e SANTOS, 2010). O grande problema deste sistema é o tamanho e peso da *tag*. Um módulo móvel ZigBee pode ter o tamanho e o peso de um celular não muito compacto. Esse peso e tamanho é inconveniente para uma pessoa carregar, e torna a escolha por essa tecnologia desfavorável.
- RFID (Radio Frequency Identification). O termo RFID significa “identificação por radiofrequência”. É um termo muito genérico, mas neste contexto quer dizer, mais especificamente, um sistema com *tags* portadoras de um identificador único e que transmitem e recebem sinais nas frequências HF (em torno de 125 KHz) ou UHF (400 ~ 960 MHz). Um sistema de localização por RFID funciona de forma parecida com o Wi-Fi. Há alguns leitores no ambiente, e *tags* com as pessoas ou ativos. O sistema faz a triangulação das distancias baseado nos sinais RSSI. O preço varia bastante, dependendo do tipo de material a ser utilizado, desde menos de 6.000 dólares americanos até mais de 15.000 dólares para um sistema completo. Por utilizar-se de RSSI, sofre dos mesmos problemas do Wi-Fi. A grande vantagem deste sistema, porém, são as *tags*. Mesmo as *tags* mais complexas, como as ativas, com bateria interna e até outros recursos como sensor de temperatura e umidade, são pouco maiores e mais pesadas que um simples crachá de identificação, fazendo com que o usuário nem perceba que está carregando. Principalmente por esse motivo, e pelo baixo custo, que o sistema RFID foi

escolhido para este projeto. Algumas estratégias serão tomadas, entretanto, para superar os problemas descritos anteriormente.

2.1 RFID

2.1.1 Breve histórico

Identificação por Rádio Frequência é um termo genérico que descreve qualquer sistema capaz de transmitir alguma forma de identificação de uma pessoa ou objeto através de ondas de rádio.

Sua aplicabilidade é extremamente ampla, pois não se trata de um avanço voltado para um único campo, mas que possibilita desenvolvimentos em muitas áreas do conhecimento.

Os primeiros relatos da utilização deste tipo de tecnologia, mesmo não sendo sob esta nomenclatura, datam da Segunda Guerra Mundial, pouco após a criação e utilização dos sistemas de Radar (LANDT, 2005). Apesar de ser capaz de alertar a presença de aviões a grandes distâncias utilizando frequências de rádio, o Radar não era capaz de identificá-los, causando diversos problemas durante a guerra, pois as bases não eram capazes de diferenciá-los entre aliados e inimigos. No entanto, os alemães descobriram que, ao girarem seus aviões, as ondas eletromagnéticas dos radares eram refletidas de forma diferenciada, possibilitando seu reconhecimento pela base (ROBERTI).

Pouco tempo depois deste primeiro sistema rudimentar, os ingleses desenvolveram a primeira aplicação de RFID ativo. Nela, eles instalaram um comunicador em cada avião que, ao receber as ondas de radar emitidas pelas bases terrestres, transmitiam de volta outro sinal como resposta, podendo identificar cada aeronave de forma única (ROBERTI).

O princípio básico da operação deste sistema de RFID ainda é amplamente utilizado hoje. Nele, temos um ou alguns transmissores/receptores que servem como base do sistema (chamados leitoras) além de vários transmissores/receptores portáteis (chamados *tags*). No sistema passivo, uma leitora emite um sinal que, ao ser reconhecido pelas *tags*, ativa seu circuito interno culminando na transmissão de outro sinal de resposta contendo informações específicas de cada *tag*. Esta retransmissão pode, então, ser recebida e processada pela leitora que, ao encaminhá-la para um computador, torna possível sua tradução em informações úteis, como identificação e situação.

Estas primeiras descobertas foram seguidas, nas décadas seguintes, por inúmeras pesquisas ao redor do mundo focadas, principalmente, em formas de utilizar as tecnologias conhecidas de

rádio frequência para identificação remota de objetos. As primeiras aplicações que chegaram ao mercado e puderam ser notadas pelo público geral tinham como objetivo a prevenção de furtos.

Tais sistemas, criados há décadas, ainda hoje são utilizados por diversas empresas. Dentre eles podemos destacar o utilizado em lojas de roupas, onde a etiqueta (também chamada de *tag*), caso não seja retirada no caixa, aciona um alarme ao passar pelo portal. Ou ainda os utilizados em CDs e livros que, ao serem lidos, retornam um único bit, alterável no caixa, indicando se o item ao qual está anexado já foi pago ou não.

Estes exemplos, apesar de ambos representarem os sistemas de RFID passivos, demonstram duas formas bastante distintas de utilização das *tags*: no primeiro, cada *tag* retorna ao estoque da loja, podendo ser reutilizada; já no segundo, o preço de cada *tag* deve ser agregado ao produto, pois ela não retornará à loja. Por terem apenas 1 bit de memória, as etiquetas deste segundo exemplo sempre foram muito baratas, amenizando os custos dos investimentos em automação.

No entanto, até recentemente, os custos de instalação de sistemas RFID eram relativamente altos, principalmente no caso de *tags* não reutilizáveis com maior capacidade de memória, inviabilizando a aplicação em diversos setores.

Para que a tecnologia RFID pudesse ter seu potencial de aplicação explorado, seria necessário, antes, diminuir significativamente os custos da produção em massa de *tags*. Com este objetivo em mente, algumas companhias privadas juntaram-se ao MIT, fundando o Auto-ID Center, para conduzir novas pesquisas na área, tendo como meta desenvolver um método de fabricação que pudesse diminuir os custos de *tags* para meros cinco centavos de dólar. Esta meta ainda está consideravelmente distante. Atualmente é possível encontrar *tags* a 10 centavos de dólar, se adquiridas em grandes quantidades, e cinco centavos se compradas sem o encapsulamento (CARRENDER, 2009).

Além dos avanços tecnológicos atingidos, o Auto-ID Center foi além e iniciou a tão necessária padronização do RFID, em especial os protocolos de transferência de informação e a organização dos dados dentro de cada *tag*. Esse padrão foi chamado de *Electronic Product Code* (EPC). Tudo isto foi, então, passado para a EPCglobal, uma empresa sem fins lucrativos responsável pelas pesquisas e padronizações atuais (EPCglobal, 2010).

O principal objetivo que se deseja atingir ao reduzir tanto o preço das *tags* é poder anexá-las a todos os bens produzidos. Através de um banco de dados comum conectado à internet, a posição e situação de cada bem produzido poderiam ficar disponíveis para todas as partes interessadas (e autorizadas). Caso isto fosse realizado, empresas teriam total visibilidade sobre toda a cadeia de

abastecimento. Uma determinada empresa teria conhecimento instantâneo quando seu fornecedor tivesse problemas, podendo antecipar-se aos possíveis inconvenientes. Sob outra perspectiva, caso um de seus clientes estivesse com os estoques em baixa, a empresa em questão poderia contatá-lo e oferecer os produtos faltantes (Get Started).

2.1.2 Tipos de RFID

Como se trata de um campo muito amplo é de se esperar que haja sistemas típicos para cada aplicação. Basicamente, os tipos de RFID dividem-se em ativos, semi-ativos (ou semi-passivos) e passivos. Dentro de cada uma destas categorias encontramos, ainda, divisões quanto às faixas de frequência de operação.

Pode-se classificar uma *tag* como ativa caso ela tenha alguma forma de alimentação, seja ela uma fonte ligada à rede, uma placa de energia solar ou uma simples bateria. Por este motivo, *tags* ativas podem ter seu raio de alcance relativamente grande, chegando até mesmo a centenas de metros, com qualidade de sinal aceitável.

De forma geral, *tags* ativas podem operar de duas formas distintas: em transmissão automática ou não. Quando uma *tag* não opera em transmissão automática, ela só emitirá um sinal caso receba uma requisição de alguma leitora. No caso de *tags* alimentadas por baterias, este modo de operação pode estender substancialmente a vida útil.

Já no modo de transmissão automática, a *tag* é programada para que, a um determinado intervalo de tempo, o circuito interno seja ativado e irradie uma mensagem com seu conteúdo. Caso esta mensagem não seja captada por nenhuma leitora, a transmissão terá sido em vão. Por outro lado, ao se configurar *tags* neste modo, pode-se efetuar um controle mais rígido sobre os bens ou pessoas que elas representam. Além disso, mesmo que a leitora não processe o sinal imediatamente, pode-se obter informações sobre o momento de entrada de uma determinada *tag* dentro do raio de ação de uma leitora.

Geralmente, uma mesma *tag* ativa pode operar em ambos os modos, dependendo apenas de sua configuração. No entanto, alguns modelos já vêm configurados de fábrica para um destes modos. Além disso, alguns modelos também podem oferecer recursos extras, como sensores de temperatura, movimento ou alarmes.

Entre as principais desvantagens das *tags* ativas está o seu alto custo, que vai desde alguns dólares a mais de cinquenta dólares, bem como sua vida útil limitada, que, ainda assim, pode chegar a vários anos (Active RFID System Frequencies, 2004).

Já as *tags* passivas são caracterizadas por obterem toda a energia que necessitam para operar – entenda-se receber o sinal, ativar o circuito interno e transmitir seu conteúdo – diretamente dos campos eletromagnéticos gerados pelas leitoras.

Como não necessitam de baterias ou qualquer outra fonte de energia, algumas outras características específicas das *tags* passivas são importantes. Em primeiro lugar, raramente necessitam de manutenção, podendo funcionar por décadas em perfeito estado. Em segundo lugar, uma *tag* passiva pode ser muito mais barata e menor que outras *tags*.

A forma de transmissão do conteúdo de *tags* passivas, bem como o método com que adquire energia para alimentar o circuito, pode ser executada ou através de acoplamento eletromagnético ou por *backscattering* (DOBKIN, 2005). No caso de acoplamento, um campo eletromagnético é formado entre bobinas na leitora e na *tag*, de forma que as informações são trocadas através de variações no campo, similarmente ao que acontece em transformadores. Este método tem alcance extremamente limitado e é aplicado, geralmente, em *tags* passivas de baixas a altas frequências.

Já no caso de *backscattering*, utilizado em *tags* UHF, não é formado um campo eletromagnético entre a *tag* e a leitora. As *tags* UHF captam energia diretamente das ondas de rádio e, após modificá-las, refletem-nas com seu conteúdo (DOBKIN, 2005).

Este método de funcionamento proporciona alcance significativamente maior que o método de acoplamento eletromagnético. No entanto, ambos são superados em alcance pelas *tags* ativas.

Além das *tags* ativas e das *tags* passivas, há também as *tags* semi-passivas. Essas *tags* caracterizam-se por funcionar da mesma forma que as *tags* passivas por *backscattering*, mas, ao refletir o sinal modulado, estas *tags* contam com uma fonte de energia para amplificar o sinal. Deste modo, estas *tags* contam com os benefícios de ambos os outros tipos, tendo grande alcance enquanto a bateria durar. No entanto, costumam ser mais caras por utilizarem tecnologias proprietárias.

No quesito frequência, as escolhas influenciam diretamente no alcance e na capacidade do sinal de ultrapassar barreiras. Geralmente, obtém-se maior alcance à medida que se aumenta a frequência utilizada. Além disso, pelo teorema da amostragem, este aumento na frequência também possibilita uma maior taxa de transferência dos dados.

Por outro lado, sinais com frequências mais baixas são mais capazes de contornarem obstáculos pelo fenômeno da difração, pois têm maior comprimento de onda (DOBKIN, 2005).

Por fim, outra consideração importante a ser feita na escolha de frequências utilizadas é o espectro de ondas eletromagnéticas já presente no ambiente em que o sistema RFID será instalado. Deve-se evitar a utilização de frequências na mesma faixa de outra onda do espectro, pois ambas podem sofrer interferência mútua.

Este aspecto pesa substancialmente, pois, como a modulação dos dados em RFID é ASK – Amplitude Shift Keying, a comunicação entre as *tags* e as leitoras é extremamente sensível a interferências. Este sistema de modulação é utilizado, principalmente, pelo fato de ser muito fácil de ser codificado e decodificado – tarefas que devem ser executadas até mesmo pelas *tags* mais simples, não dispondo de muitos recursos computacionais.

Na Figura 5, pode-se observar um esquema ilustrativo das principais frequências utilizadas em sistemas RFID com *tags* passivas (DOBKIN, 2005).

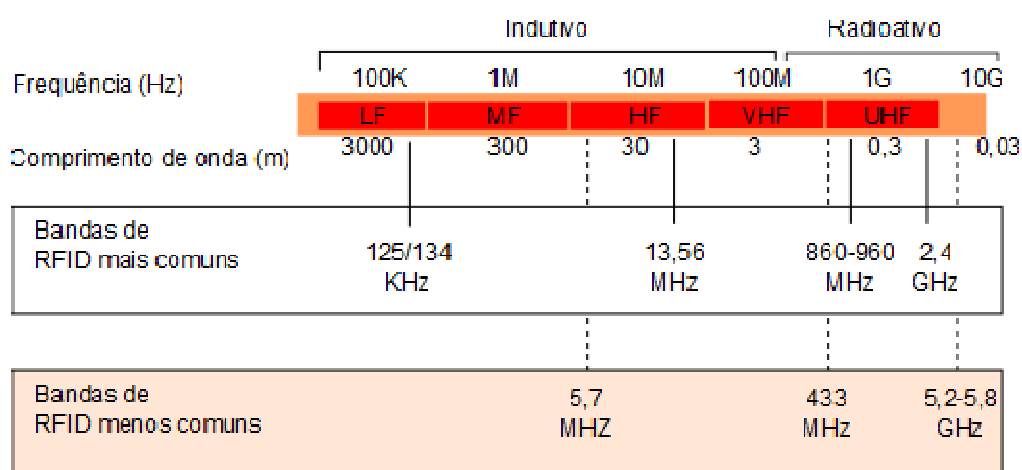


Figura 5 - Principais frequências de operação de *tags* RFID

As *tags* ativas operam, geralmente, nas faixas de 433MHz, 2,45 GHz e 5,8 GHz.

2.1.3 Componentes de um sistema RFID

Um sistema de RFID operável necessita de diversos equipamentos de hardware bem como alguns softwares específicos para administrá-los.

Os principais componentes de hardware utilizados são as *tags*, as leitoras e os computadores e servidores utilizados no processamento das informações.

No entanto, alguns componentes de software são extremamente importantes para que o sistema funcione corretamente. Além dos softwares de administração da rede e do banco de dados, o software mais importante de um sistema RFID é o middleware.

O middleware consiste, como o próprio nome já indica, em um meio de interligar o mundo puramente hardware – leitoras e *tags* – à parte do sistema que é puramente software – processamento e bancos de dados.

O middleware, resumidamente, deve ser capaz de enviar comandos às leitoras específicas da rede e receber informações das mesmas. Além disso, é essencial que o middleware seja capaz de filtrar as informações recebidas, pois, algumas vezes uma execução de leitura retorna identificações repetidas (Middleware RFID, 2009).

2.2 RSSI (Received Signal Strength Indicator)

Um sinal eletromagnético enviado por ondas de rádio de um equipamento para outro perde potência com o quadrado da distância, como mostra a equação (1).

$$P = \frac{K}{D^2} \quad (1)$$

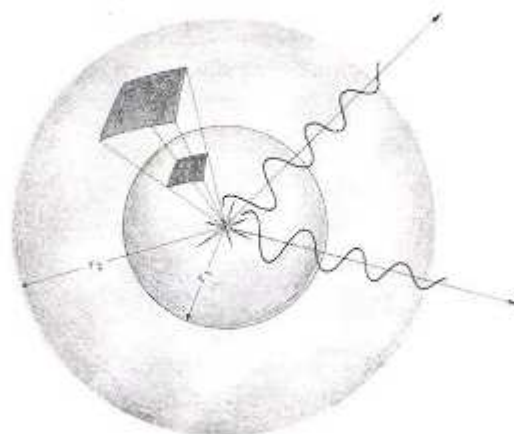


Figura 6 - Perda de potência com o quadrado da distância (HECHT, 2002).

É comum equipamentos que utilizam ondas de rádio medirem a potência do sinal recebido com o RSSI, que significa, em português, Indicador de Força do Sinal Recebido. Cada equipamento, no entanto, utiliza sua própria métrica para indicar a força do sinal.

Como a potencia cai com o quadrado da distância, a curva seria, no caso ideal, como mostrado na Figura 7, um gráfico da equação $P = \frac{K}{D^2}$ (1) com $K=10$.

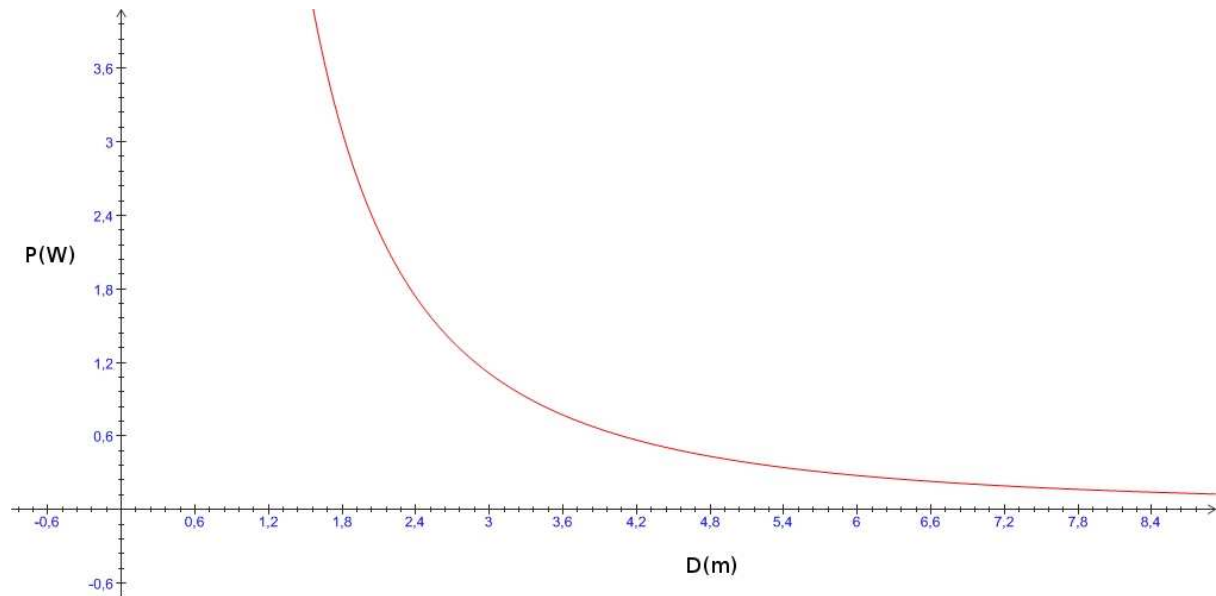


Figura 7 - Decaimento da potência de um sinal de rádio com a distância

A equação $P = \frac{K}{D^2}$ (1) nos permite inferir a distância de um emissor de sinal do receptor pelo RSSI. Entretanto, em sistemas reais há o problema dos caminhos múltiplos, impossibilitando a localização por triangulação simples em ambientes indoor com base no RSSI. Como explicado, o problema dos caminhos múltiplos ocorre quando o mesmo sinal atinge o alvo por diferentes caminhos devido a reflexões. Por esse motivo não se pode inferir a distância em linha reta entre o receptor e o emissor por RSSI em um ambiente *indoor*. Outro problema acontece quando mais de um sinal chega ao receptor com potências diferentes. Caso o receptor possa identificar o sinal, todos os sinais atrasados podem ser ignorados, mas, se um dos sinais se perde, pode haver informações conflitantes de potência. Um caso onde ocorrem caminhos múltiplos é ilustrado na Figura 8, onde o sinal emitido pelo emissor (círculo azul) atinge o receptor (círculo verde) por dois caminhos diferentes, azul e vermelho. Percebe-se claramente que o caminho vermelho é mais longo e, portanto, terá um RSSI menor. Dependendo de qual deles o receptor identificar, o sistema pode inferir incorretamente a distância do emissor.

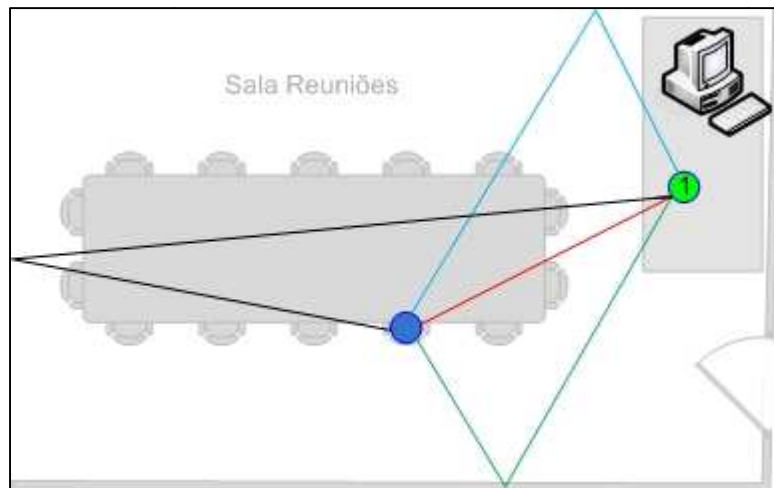


Figura 8 - Ilustração de caminhos múltiplos.

2.3 Redes Neurais Artificiais

Para contornar o problema dos caminhos múltiplos é proposta a utilização de redes neurais artificiais.

Redes Neurais Artificiais, ou RNA, são conjuntos de entidades individuais interligadas que pode ter múltiplas entradas e apresentar múltiplas saídas. As entidades individuais são chamadas de neurônios artificiais.

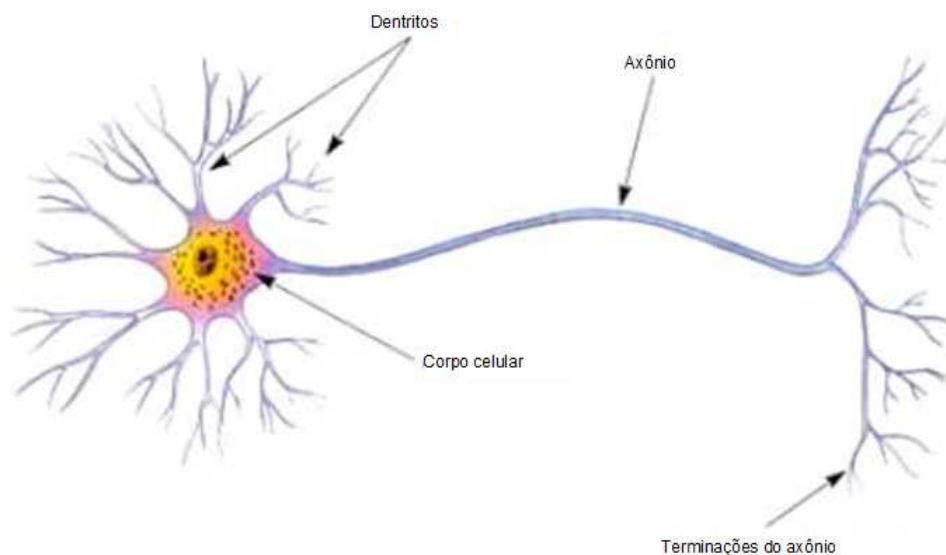


Figura 9 - Estrutura de um neurônio biológico (PACKTER).

O cérebro humano é composto por cerca de 10^{11} neurônios. Um neurônio biológico tem a estrutura básica apresentada na Figura 9. Toda a atividade cerebral consiste em inúmeras interações entre esses neurônios chamadas sinapses. Uma sinapse é um processo químico que transmite um

signal elétrico entre o axônio de um neurônio e os dendritos de outro. No corpo celular é onde ocorre o processamento do sinal. Do ponto de vista de um único neurônio, o sinal entra pelos dendritos e segue pelo corpo celular, até sair pelo axônio.

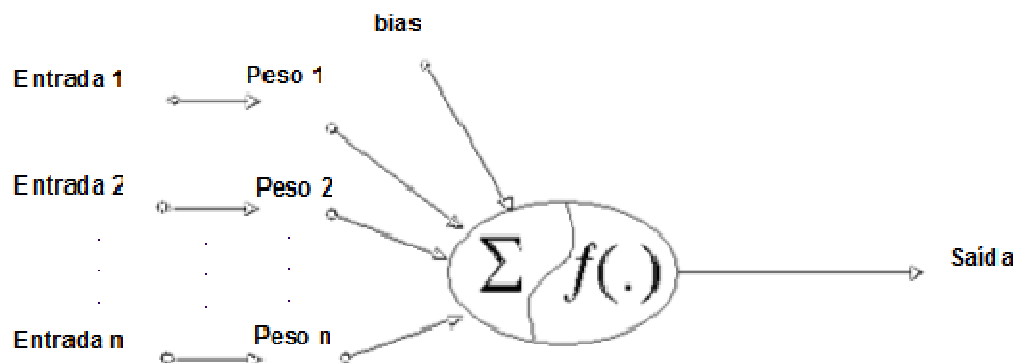


Figura 10 – Estrutura básica de um neurônio artificial.

O neurônio artificial foi inspirado no neurônio biológico, e possui uma estrutura semelhante, Figura 10. Ele funciona fazendo uma média ponderada das entradas com seus respectivos pesos, além de uma polarização. Na saída há uma função chamada função de ativação. Uma rede neural artificial pode ser organizada de várias maneiras. A rede mais empregada é o PMC.

2.3.1 Perceptron multicamadas

O Perceptron multicamadas (PMC) é uma rede onde há neurônios cujas entradas são saídas de outros neurônios. Entre a entrada e a camada de saída há pelo menos uma camada escondida. É provado que o perceptron multicamadas é capaz de resolver qualquer problema linear ou não linear (SILVA, SPATTI e FLAUZINO, 2010). Seu funcionamento é *feedforward*, ou seja, o fluxo de dados é unidirecional, da entrada para a saída. O treinamento utiliza a técnica *backpropagation*, que propaga o erro de uma camada para a outra da saída para a entrada e ajusta os pesos de cada neurônio.

O PMC é a topologia de redes neurais mais utilizada para solucionar problemas em engenharia ou ciências. São conhecidas aplicações em medicina, biologia, química, física, economia, geologia, ecologia e psicologia (SILVA, SPATTI e FLAUZINO, 2010). As principais aplicações são em reconhecimento de padrões, aproximação de funções e problemas relacionados a sistemas dinâmicos não lineares.

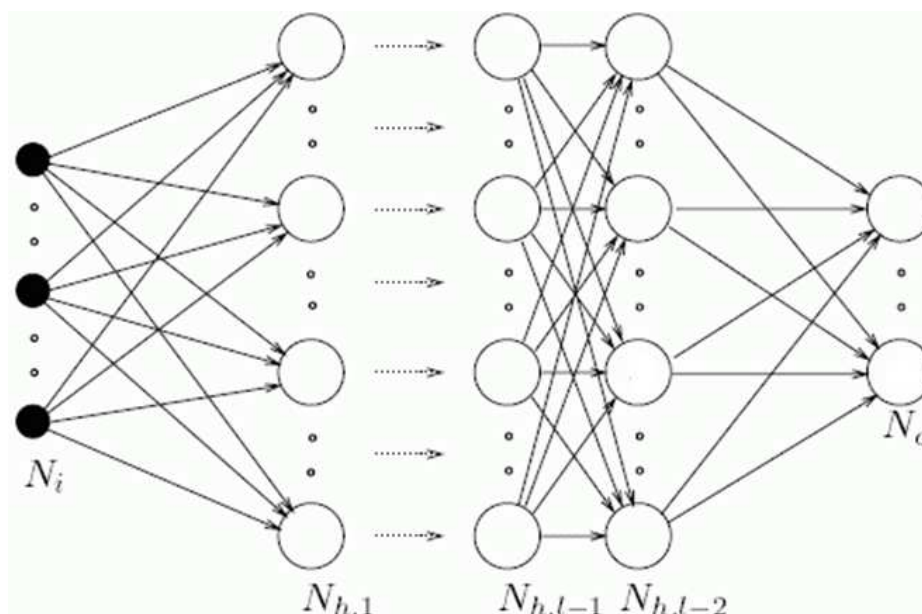


Figura 11 - Perceptron multicamadas (FIRAT, 2007).

A Figura 11 ilustra um perceptron multicamadas. N_i é a i -ésima entrada, $N_{h,1}$ é o i -ésimo neurônio que da primeira camada oculta, a camada 1. $N_{h,t-1}$ e $N_{h,t-2}$ são neurônios das últimas camadas ocultas. N_o é um dos neurônios da camada de saída.

3. Experimento de Localização RFID

Este trabalho propõe a implementação de uma rede RFID para localização dos usuários do LARA (www.lara.unb.br) – Laboratório de Automação e Robótica da UnB – Universidade de Brasília. Para isso foram adquiridos equipamentos com tecnologia RFID ativo. Essa escolha foi tomada baseada em alguns fatores:

- O sistema passivo é suscetível a falhas se o ambiente for muito úmido. A aplicação deste projeto prevê que os usuários usarão as *tags*, dentre outras maneiras, nos bolsos, próximos da pele. Foram feitos testes dessa situação com sistemas passivos, e esses revelaram que uma *tag* próxima ao corpo de fato não é lida, mesmo que a leitora esteja próxima.
- O sistema ativo possui um alcance muito maior entre a leitora e as *tags* que o sistema passivo. Uma leitora de *tags* passivas consegue ler uma *tag* a até 10m de distância, sem obstruções, enquanto que uma leitora de *tags* ativas consegue ler uma *tag* ativa a mais de 20m.
- Apesar de as *tags* passivas serem muito menores que as ativas, essas últimas ainda assim podem ser relativamente pequenas. O modelo adquirido para este trabalho tem o tamanho aproximado de um crachá comum, com a exceção de ser um pouco mais grosso.
- As *tags* ativas emitem um sinal com mais potencia que as passivas, pois possuem uma bateria interna. Por esse motivo, a medição do sinal RSSI é mais confiável.

Com base nesses argumentos, e após pesquisa de mercado, foram adquiridos equipamentos da empresa Acura (www.acura.com.br). Esses equipamentos foram:

- 5 leitores L-A900 Wave Ethernet
- 5 antenas L-N200 Stub
- 80 tags Wave L-T501

3.1 L-A900 Wave Ethernet



Figura 12 - Leitor RFID L-A900 Wave Ethernet.

O leitor L-A900, Figura 12, funciona na frequência de 433 MHz com *tags* ativas. Ele consegue ler *tags* sem nenhuma antena, porém o alcance fica limitado a aproximadamente 1 m. Com a antena adquirida, L-N200 Stub, é possível um alcance de até 40 m, de acordo com o datasheet. Em laboratório com experimentos preliminares foi conseguido um alcance de aproximadamente 15 m. É preciso levar em consideração que as informações contidas em datasheet são sempre obtidas sob condições ideais.

A comunicação com o servidor é feita por *Ethernet* e protocolo TCP/IP. Ao se conectar o aparelho à rede, é possível facilmente configurá-lo quanto ao número de IP e outras características. A alimentação pode ser feita com uma fonte simples ou por *Power over Ethernet* (PoE), muito prático, pois elimina um cabo. Há ainda duas entradas digitais e duas saídas a relé, para uso em algumas aplicações, como controle de acesso.

Existem 4 indicadores no leitor que assinalam o acionamento de cada um dos relés, se há uma *tag* sendo lida e ainda se o leitor está alimentado.

Este modelo possui algumas características que podem ser interessantes, como *auto-pooling*, que fica constantemente lendo as *tags* dentro do raio de alcance, ou *pooling* manual, situação em que é preciso enviar um comando de leitura para o leitor. O aparelho também consegue fazer uma estimativa de ruído branco no ambiente, filtrar a leitura de apenas alguns tipos de *tags*, entre outras... Mas uma das informações mais importantes fornecidas por esse leitor é o RSSI das *tags* lidas. O RSSI é um indicador de potência, definido neste equipamento por um byte, ou seja, um número

decimal entre 0 e 255. Ele representa uma potência, mas o indicador não possui unidade. É com base nesse indicador que o algoritmo de localização trabalhará (Produtos - AcuWave).

3.2 Antena L-N200 Stub

A antena utilizada também é da marca Wavetrend, com diagrama de radiação é omnidirecional, similar ao diagrama da Figura 13.

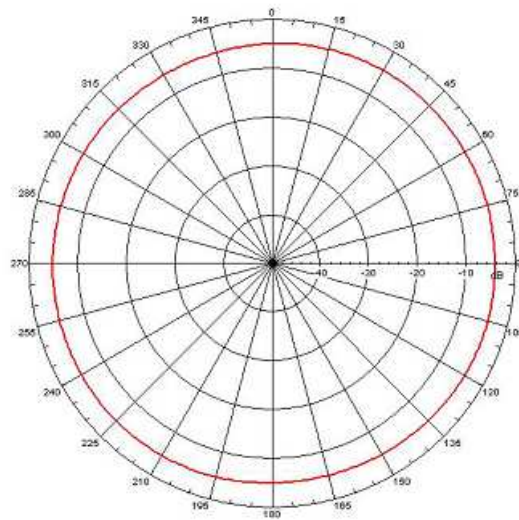


Figura 13 - Diagrama de radiação no plano horizontal.

3.3 Wave L-T501



Figura 14 - tag RFID Wave L-T501_A.

A *tag* Wave L-T501-A, Figura 14, tem as dimensões de largura e altura de um crachá comum (85mm x 53mm x 5mm), sendo um pouco mais grossa. Apesar disso pode ser usada como crachá, até porque ela já tem o espaço para se passar o suporte para pescoço. Possui uma bateria de lítio interna, que deve manter a *tag* enviando sinais a cada 1,5s ou 15s por cinco anos, de acordo com o datasheet. O período entre envios depende da sua movimentação. Ela possui um sensor de movimentos, e, quando em movimento, transmite sinais a cada 1,5s e, quando em repouso, transmite sinais a cada 15s. O pacote enviado possui muitas informações, como ID da *tag*, período de envio, e quantas vezes a *tag* já enviou sinais em sua “vida”. Esta última informação é útil para cálculo de bateria.

É encapsulada com PVC e selada por ultrassom (Produtos - AcuWave), fornecendo, segundo o fabricante, grande qualidade e robustez física. Os dados transmitidos podem incluir, além do *tag* ID, contador de leituras e Site Code (Produtos - AcuWave).

3.4 Instalação no LARA

As leitoras RFID foram instaladas no LARA conforme mostra a Figura 15 **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Elas foram instaladas em locais de fácil acesso e alteração para o desenvolvimento inicial do sistema. Portanto quatro delas estavam sobre mesas ou bancadas e a central estava sobre um armário. Elas estavam conectadas a pontos de rede próximos, integrando-se à rede do laboratório.

A ideia inicial era mapear todo o LARA com as cinco leitoras adquiridas. De acordo com o raio de alcance das antenas descrito no *datasheet*, cinco leitoras seriam suficientes para sempre ter pelo menos três leituras de qualquer *tag*, independente de onde elas estivessem dentro do LARA. Dessa forma, as leitoras foram instaladas de acordo com a Figura 15.

Entretanto, como descrito no APÊNDICE A, as leituras raramente eram constituídas de dados das cinco leitoras. Por vezes não era possível obter nem mesmo dados de três leitoras para uma mesma leitura, dificultando a localização como ela é proposta. Por esse motivo optou-se por alterar a proposta e mapear apenas a área compreendida pela Figura 16. Na Figura 16 também é possível verificar a localização de cada uma das cinco leitoras. Com essa configuração normalmente os pacotes de dados eram adquiridos com informações de todas as leitoras.

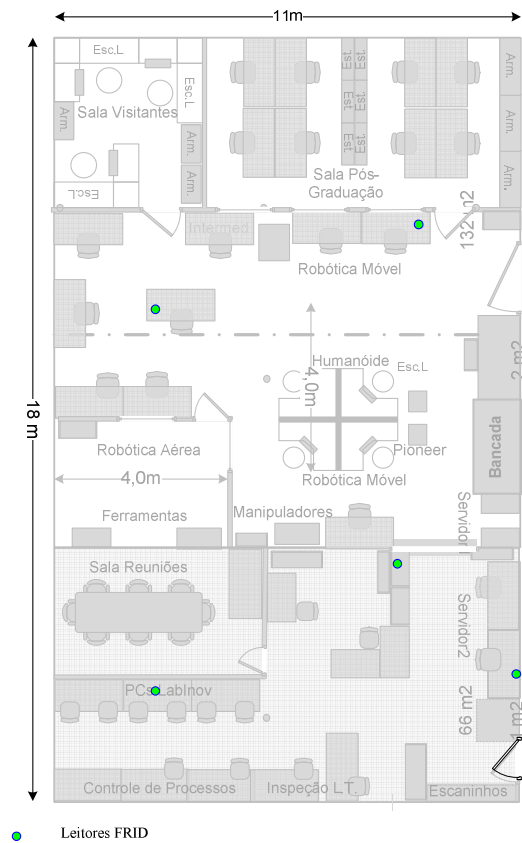


Figura 15 - Instalação inicial das leitoras RFID no LARA que causada grande perda de pacotes

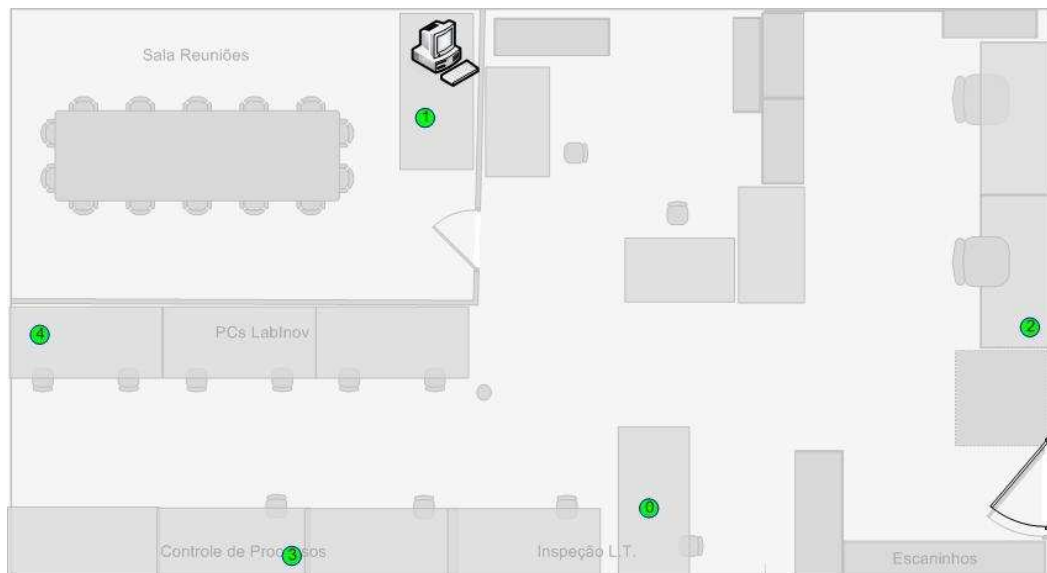


Figura 16 - Instalação definitiva das leitoras no LARA

3.5 Ferramentas computacionais

O algoritmo de localização, como já foi dito anteriormente, usará como entrada os RSSI de cada *tag* a ser rastreada. Ele parte do princípio que o RSSI é proporcional a distância da *tag* ao leitor. Com base nisso, serão utilizadas técnicas de redes neurais. Como esse indicador (RSSI) é passível de muitas interferências por causa do problema dos caminhos múltiplos, há algumas providências a serem tomadas que podem melhorar o desempenho do sistema.

3.5.1 Filtro de Kalman

Filtro de Kalman (FK) é a abordagem que se firmou no contexto de localização nos últimos anos. Consiste, basicamente, em fazer estimativas da próxima posição da *tag* baseada nas posições anteriores quando não há dados da posição atual, ou os dados não são confiáveis, pois nele contém conhecimento do modelo de movimentação da *tag*, que corresponde à movimentação de um usuário. Quando novos dados confiáveis estiverem disponíveis, a estimativa é corrigida (THRUN, BURGARD e FOX, 2005). Dessa maneira, é possível trabalhar com triangulação mesmo que não se tenha o RSSI de três leitoras referente a uma *tag* num dado momento. A posição é estimada baseada nos dados que o sistema possui no momento e, quando obtiver os dados que restam, essa estimativa é corrigida. Além disso, o FK, se bem projetado, é capaz de desconsiderar ruídos nas entradas.

3.5.2 Calibração e redes neurais

Como já foi explicado anteriormente (SHINODA e SANTOS, 2010), o sinal RSSI não é muito confiável. Por vezes, a relação RSSI com distância não segue nenhum comportamento modelável. Por essa razão, será usada a técnica de localização por redes neurais. Depois de o sistema ser instalado, muitas medidas serão feitas em pontos conhecidos do laboratório. Após a conclusão desse procedimento, o sistema será capaz de comparar as medidas feitas das *tags* a serem localizadas com aquelas medidas do treinamento, e poderá inferir com maior precisão a localização da *tag* em questão.

A topologia escolhida para a rede neural a ser utilizada foi a do Perceptron Multicamadas. Essa escolha se baseia no fato de que ela é capaz de resolver problemas não lineares, que é o caso. Além disso, ela é de simples implementação, por exemplo, com ajuda do software Matlab.

4. Testes

Foram feitos testes para avaliar os equipamentos e a tecnologia. Como explicado, o RSSI é um indicador de potência. O fabricante não fornece nenhuma relação entre o RSSI enviado pela leitora e

alguma grandeza conhecida, como Watt ou dB. Portanto em todos os resultados apresentados a medida de potência é o RSSI fornecido pela leitora.

4.1 Teste 1: Distância x RSSI com uma leitora e uma tag

OBJETIVO: Entender a relação entre RSSI e distância em um ambiente *indoor* com o equipamento adquirido.

Neste teste a leitora estava na posição verde claro. O teste 1.1 foi feito nas posições laranja, e o teste 1.2 foi feito nas posições verde escuro, como mostrado na Figura 17.

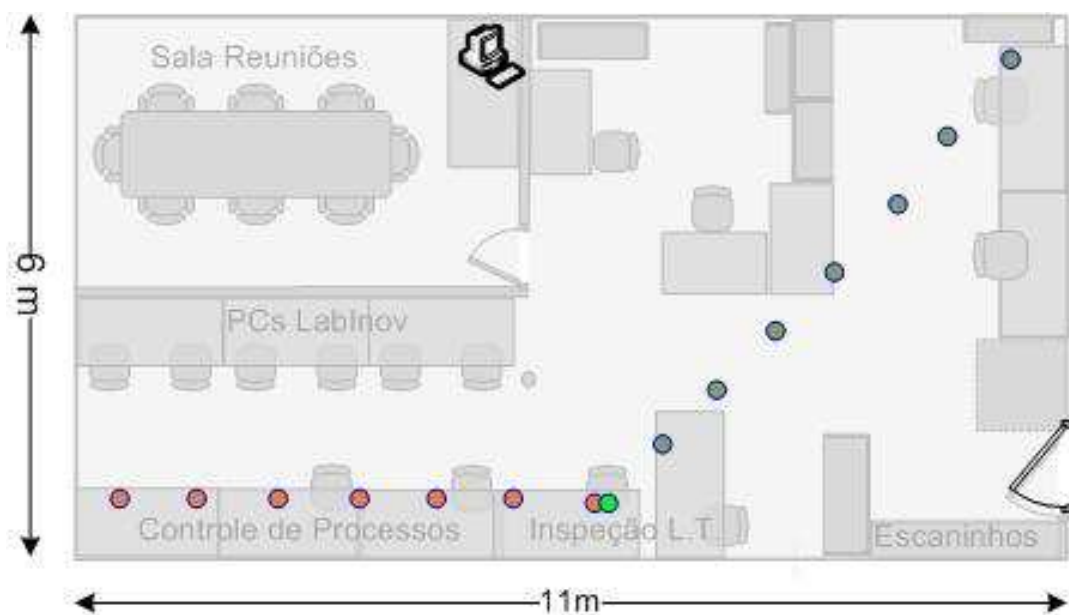


Figura 17 - Posição das tags e leitora no teste 1.

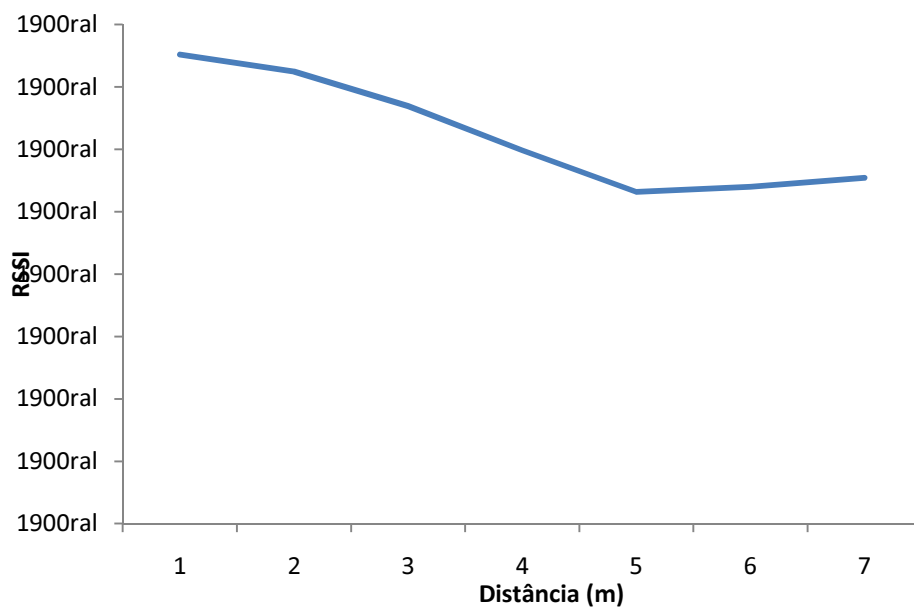


Figura 18 - Teste 1.1, Distância (m) x RSSI.

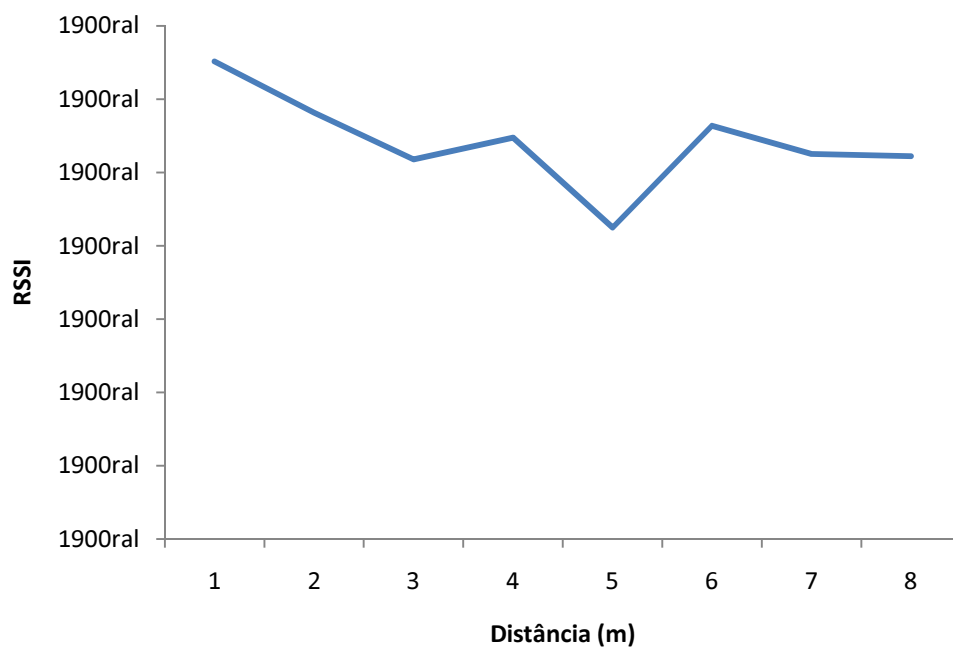


Figura 19- Teste 1.2, Distância (m) x RSSI.

Os gráficos mostram o decaimento da potência (RSSI) com a distância. A potência dissipada cai com o quadrado da distância, como mostra a Figura 7. De acordo com o fabricante, em condições ideais, o RSSI deveria ter uma relação linear com a distância. Entretanto, ainda de acordo com o fabricante, em situações reais isso não acontece. Isso foi verificado no teste 1. No teste 1.1 o decaimento parece seguir uma tendência exponencial ou talvez até quadrada. O importante é que o sinal

realmente decai com a distância. Por outro lado, o teste 1.2 mostra grandes oscilações a partir de 4 metros de distância entre a *tag* e a leitora. Isso sugere que leituras acima dessa distância terão maiores interferências ambientais e menor confiabilidade, reforçando a ideia de que em ambientes maiores será mais difícil fazer a localização das *tags*.

4.2 Teste 2: Comparação entre *tags* em movimento e em repouso

OBJETIVO: Verificar se a *tag* em movimento transmite sinais diferentes do que em repouso.

Foram feitas 100 leituras de uma mesma *tag* com ela em movimento e em repouso. Para o teste em repouso, a *tag* era posicionada sobre uma mesa enquanto os dados eram coletados. Para o teste em movimento, a *tag* era posicionada sobre uma pasta que era movida constantemente em movimentos vibratórios, sem, no entanto, alterar sua posição em mais de 5 cm. O sistema reconhece o estado de movimentação da *tag* pelo período de envio dos pacotes. A *tag* informa no próprio pacote se ela está enviando há 1,5 segundos, caso em que ela está em movimento, ou há 15 segundos, caso em que ela está em repouso.

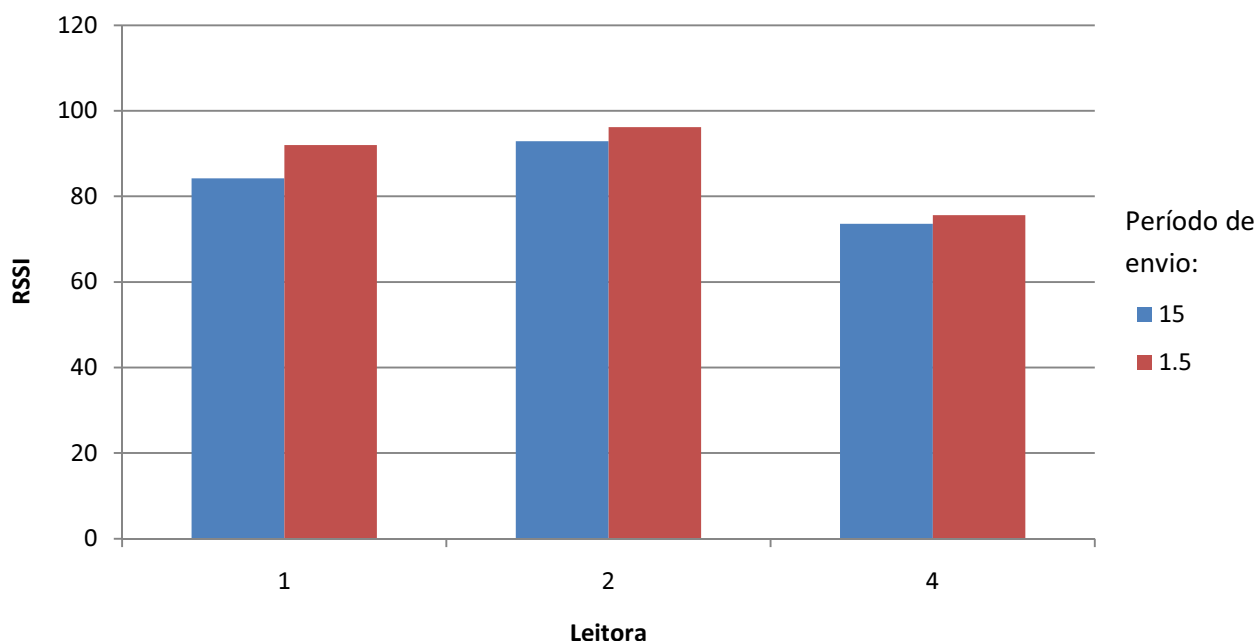


Figura 20 – Teste 2: Leitora x Média de RSSI.

A Figura 20 mostra a média do RSSI lido em três leitoras posicionadas estrategicamente pelo laboratório. As barras azuis indicam as leituras quando a *tag* estava em repouso, e as barras vermelhas quando em movimento. Percebe-se que o RSSI quando a *tag* está em movimento é sempre maior. Se este caso fosse um sistema real, a leitora 1, principalmente, indicaria que a *tag* estaria em posições diferentes. Este problema, entretanto, pode ser tratado, pois o sistema é capaz de reconhecer se a *tag* está em movimento ou não.

4.3 Teste 3: Comparação entre diferentes orientações de uma mesma tag.

OBJETIVO: Verificar se a *tag* em diferentes orientações transmite sinais com RSSIs diferentes.

Neste teste a *tag* foi lida por todas as leitoras em duas orientações diferentes: quando seu eixo maior esta orientado para Leste-Oeste, e quando ele estava orientado para norte-sul. A Figura 21 mostra como a orientação influencia no RSSI da *tag*. Em algumas leitoras o RSSI era maior com uma orientação e em outras com outra orientação. Isso faz sentido porque, como as leitoras estavam posicionadas pelo laboratório, a orientação entre a *tag* e as leitoras é relativa. Além disso, mais uma vez se verificou a diferença entre o sinal transmitido a 1,5 s e a 15s de período. Mesmo assim, para uma mesma leitora, uma orientação gerava um RSSI maior que a outra em ambos os períodos.

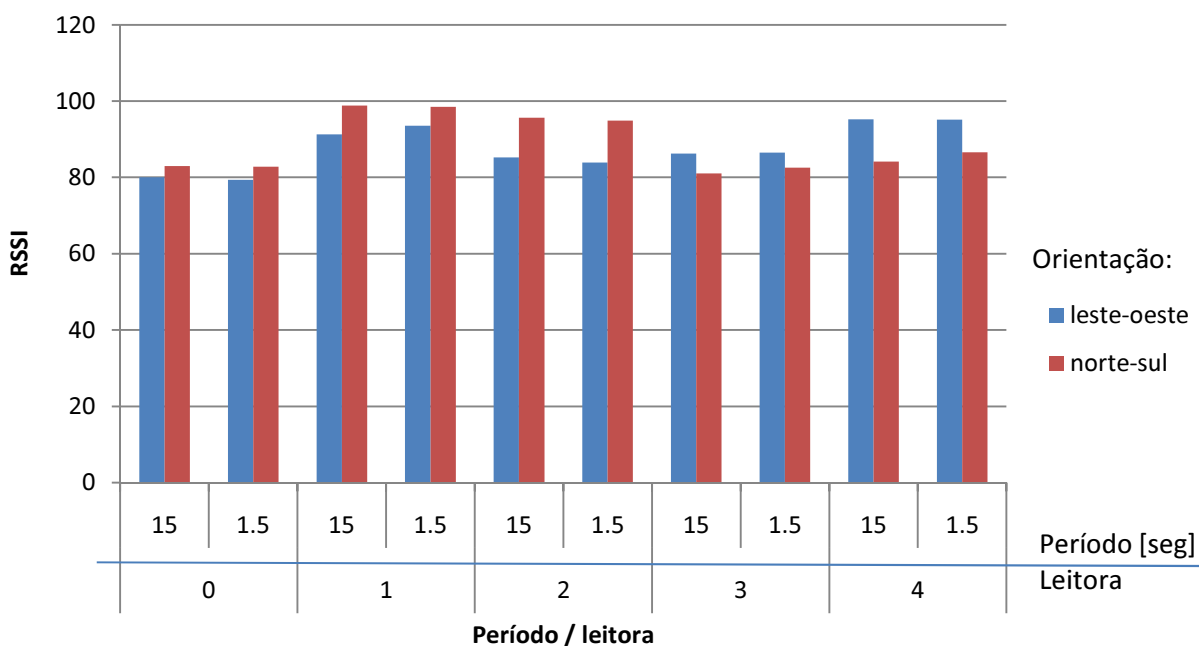


Figura 21 - Teste 3: orientação da *tag*. Leitora e período de envio. X Média de RSSI.

4.4 Teste 4: Comparação entre tags diferentes

OBJETIVO: Verificar se *tags* diferentes enviam sinais com potências diferentes.

Para este teste duas *tags* diferentes, as de números 991643 e 991667, foram deixadas imóveis e na mesma orientação e próximas uma da outra (10 cm de distância) por mais de duas horas, coletando-se mais de 500 pacotes de dados.

A Figura 22 mostra como as leituras das duas *tags* são diferentes. Era de se esperar que elas fossem parecidas, mas as diferenças são extremamente grandes, principalmente para o caso da leitora de número um, em que a média do sinal entre as *tags* quase chega a dez pontos.

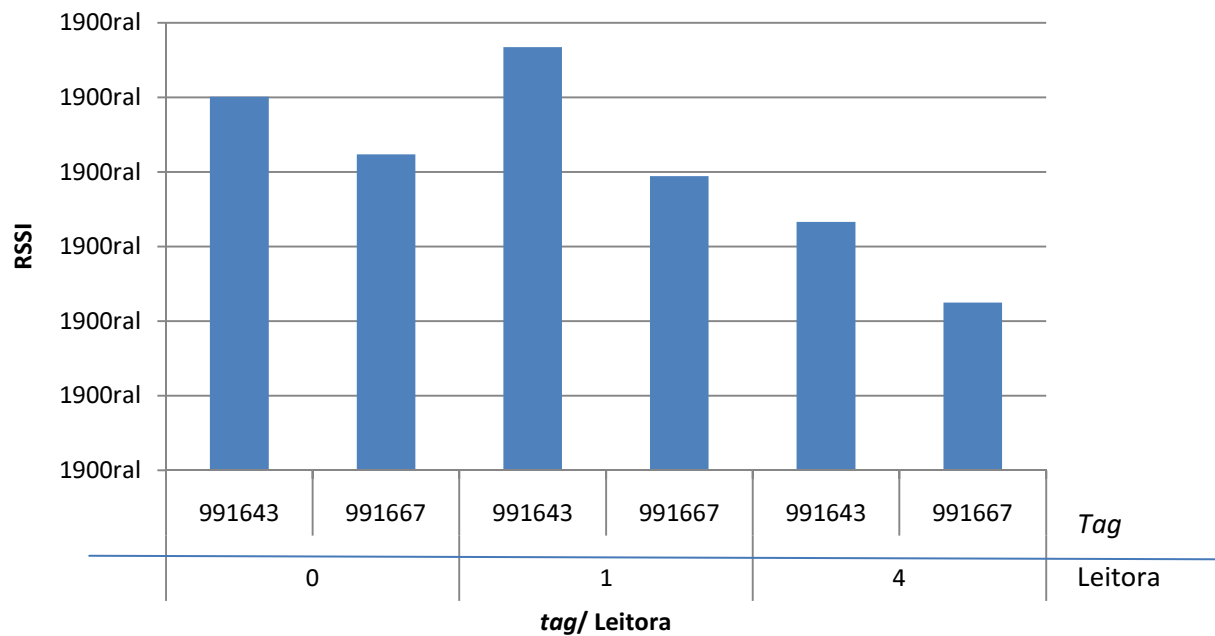


Figura 22 – Tags e Leitoras x média de RSSI.

4.5 Teste 5: análise de longa duração

OBJETIVO: Verificar possíveis oscilações nas medidas do RSSI por um longo período de tempo, e tentar identificar as razões.

Esse teste foi feito deixando-se a *tag* de controle numa mesma posição por mais de 48 horas.

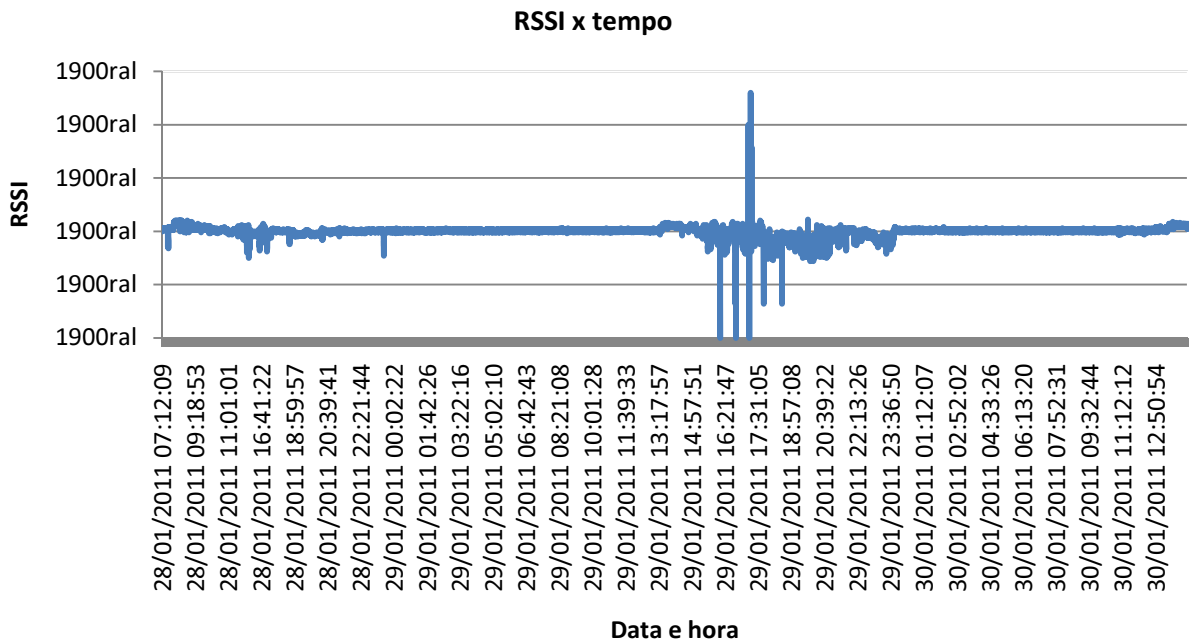


Figura 23 - RSSI lido ao longo do fim de semana.

Esse gráfico representa o RSSI lido pela leitora 0 de uma *tag* em uma localidade central do laboratório, por onde frequentemente passam pessoas próximas.

O teste iniciou na manhã de sexta feira. Percebem-se variações no RSSI das 7 da manhã até quase 23h. Depois há um período de grande estabilidade até aproximadamente 13h do sábado. A seguir a grandes variações até por volta da meia noite, quando começa outro período de estabilidade de até às 10 da manhã de domingo.

Fica claro que os períodos de estabilidade, à noite, acontecem porque há pouco ou nenhuma atividade no laboratório durante o teste. E os períodos de maior variação correspondem aos períodos que havia pessoas estudando e trabalhando. Vale ressaltar que entre 14h e 23h do dia 29 havia entre 3 e 5 pessoas estudando na mesa onde a *tag* havia sido posicionada

No próximo capítulo será apresentado o software middleware desenvolvido para comunicação entre as leitoras e o MatLab, além dos procedimentos para coleta de dados, treinamento da rede neural e processamento dos sinais.

5. Software desenvolvido

Foi desenvolvido um software em linguagem de programação Delphi para a comunicação com as leitoras. O software é capaz de coletar quaisquer informações do sistema RFID, tais como ID das *tags*, RSSI, *age* e *period*.

A Tabela 2 mostra as principais funções do software.

Tabela 2 - Campos e funções do software desenvolvido.

Campo	Função
Conectar todas as leitoras	Conecta com todas as leitoras e inicia a comunicação. Os dados recebidos são inseridos no campo à direita.
Ver saídas	Mostra os dados recebidos pelas leitoras separadamente.
Mapa	Mostra o mapa do laboratório onde a <i>tag</i> será localizada e o ambiente identificado.
Salvar	Salva os dados de todas as leitoras no arquivo “.txt” com nome dado pelo campo editável ao lado do botão.
Apagar	Apaga da tela os dados enviados pelas leitoras.
Ativar MatLab	Abre uma instância do MatLab e um canal de comunicação com ela. Se tal instância já está aberta, simplesmente abre o canal de comunicação. Esse procedimento pode demorar mais de um minuto.
Desativar MatLab	Fecha o canal de comunicação com o MatLab e encerra a instância que estava usando se ela ainda estivesse aberta.
Carregar rede	Carrega o arquivo “.mat” do MatLab que contém a rede neural a ser usada.
Calcular	Calcula, no MatLab, a linha de comando inserida no campo editável à esquerda do botão.
Monitorar	Executa o comando com os “DADOS” que são obtidos das leitoras. Esse comando altera a linha de código a ser calculada pelo MatLab, e tem como objetivo localizar a <i>tag</i> inserida no campo editável ao lado do botão.
Salvar automaticamente	Salva automaticamente, a cada cinco minutos, os dados das leitoras no arquivo “.txt” com nome inserido no campo editável ao lado do botão “Salvar”. Essa <i>checkbox</i> é utilizada quando se quer coletar dados durante um longo período de tempo.
Monitorar automaticamente	Quando essa caixa estiver marcada, o sistema calcula, com a rede neural, a localização da <i>tag</i> desejada sempre que novos dados chegarem.

Age é o número do pacote que a *tag* está enviando. Desde a sua fabricação, a *tag* incrementa um contador cada vez que envia um pacote. Essa informação é útil para cálculo da bateria restante na *tag*. Mas o sistema utiliza principalmente para reconhecer um pacote. Quando uma *tag* envia as informações, todas as leitoras devem receber o sinal e o software lê esses dados. Com a informação do *age*, o sistema reconhece que os dados recebidos pelas leitoras têm origem de um mesmo sinal enviado por uma *tag*, e formam um conjunto de dados completo com informações das cinco leitoras, mesmo que uma leitora receba o sinal antes ou depois das outras. Se, por exemplo, uma leitora receber o sinal de *age* (X) e, segundos mais tarde, recebe o sinal de *age* (X + 2), o sistema detecta que um pacote foi perdido.

Period nada mais é que o período de transmissão do sinal pela *tag*. No caso, pode ser 1,5 segundos ou 15 segundos. Essa informação é útil para saber se uma *tag* está em movimento (1,5 s) ou em repouso (15 s).

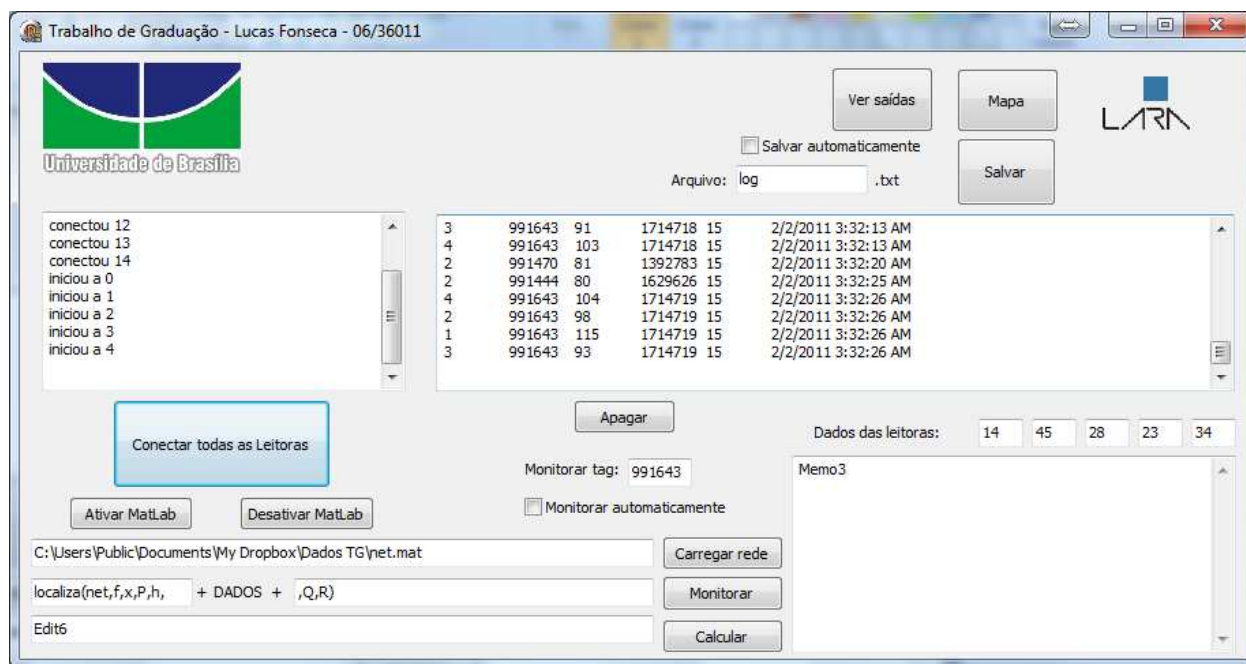


Figura 24 – Interface gráfica do software desenvolvido para comunicação entre as leitoras e o Matlab.

5.1 Coleta de dados

Foram coletados dados necessários ao treinamento da rede neural. A *tag* era deixada em vários pontos pelo laboratório dos quais as coordenadas eram registradas. Tomou-se o cuidado de sempre usar a mesma *tag*, devido ao fato de que *tags* diferentes geram RSSIs diferentes. Sempre deixá-la na mesma orientação, pois orientações diferentes também geram RSSIs diferentes, e sempre deixá-la em repouso, pois o RSSI do sinal emitido em repouso é diferente do RSSI emitido pelo sinal em movimento. Tudo isso foi feito para manter a maior constância possível nos sinais que serão usados no treinamento da rede.

Foi definido que seriam coletados pelo menos 20 conjuntos de dados em cada posição. Como o sinal, quando em repouso, é transmitido a cada 15 s, o tempo de coleta de dados para cada posição é:

$$\text{tempo} = \frac{(20 \text{ conjuntos de dados}) \cdot (15s)}{60s \text{ por minuto}} = 5 \text{ minutos} \quad (\text{Erro! Indicador não definido.})$$

Por este cálculo as coletas foram feitas sempre em mais de 5 minutos.

Os pontos no laboratório onde os RSSIs foram coletados são ilustrados na Figura 25.

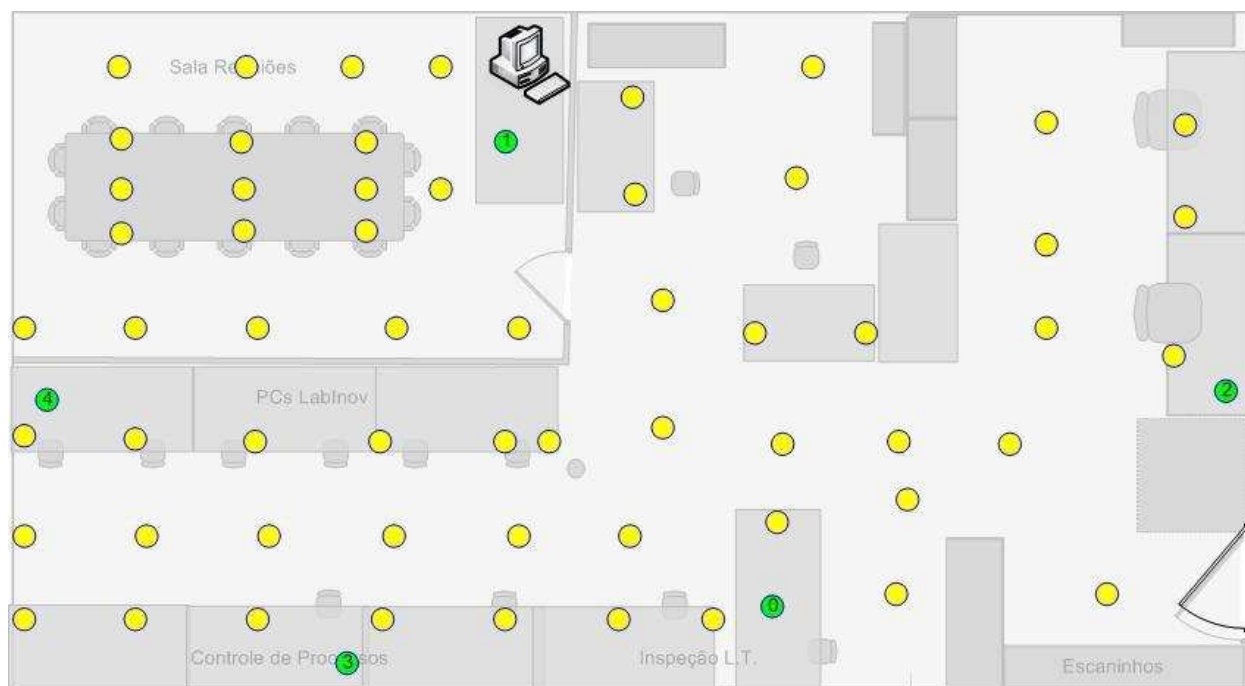


Figura 25 – Os pontos amarelos são os locais do laboratório onde pacotes de dados de RSSI foram coletados.

Para cobrir uma boa porção da área a ser mapeada foram utilizados 59 pontos de coleta de dados, o tempo total de coleta de dados foi:

$$tempo\ total = 59 * 5\ minutos = 295\ minutos \approx 5\ horas$$

(Erro! Indicador não definido.)

Além disso, muitos dados estavam muito ruidosos ou houve problemas com as leitoras durante a coleta. Nesses casos novos dados foram coletados.

Ao final, foi coletado um total de 1775 conjuntos de dados. A Tabela 3 mostra uma pequena amostra desses dados.

Tabela 3 - Amostra dos conjuntos de dados coletados para treinamento.

Leitora 0	Leitora 1	Leitora 2	Leitora 3	Leitora 4	Alvo para X	Alvo para Y	Alvo para ambiente
28	23	20	34	22	150	250	1
29	23	20	37	22	150	250	1
29	19	20	37	22	150	250	1
29	19	19	37	22	150	250	1
29	19	18	38	22	150	250	1
29	15	18	38	22	150	250	1
30	15	20	38	22	150	250	1
12	27	18	16	26	150	30	1
12	26	18	16	25	150	30	1
12	25	16	16	25	150	30	1
12	25	16	11	26	150	30	1
12	26	16	11	26	150	30	1
12	26	13	11	28	150	30	1
10	26	14	11	28	150	30	1
12	27	16	22	27	150	30	1
12	28	14	16	28	150	30	1

As Figura 26 a 30 mostram o RSSI médio obtido para as leitoras 0 a 4. Sob as curvas está o a planta baixa em cinza claro do laboratório. Em todas elas os eixos X (0 a 600) e Y (0 a 1100) representam coordenadas em cm no laboratório, e o eixo Z representa o valor do RSSI lido pela leitora em questão subtraído de 70, conforme explicado na próxima seção.

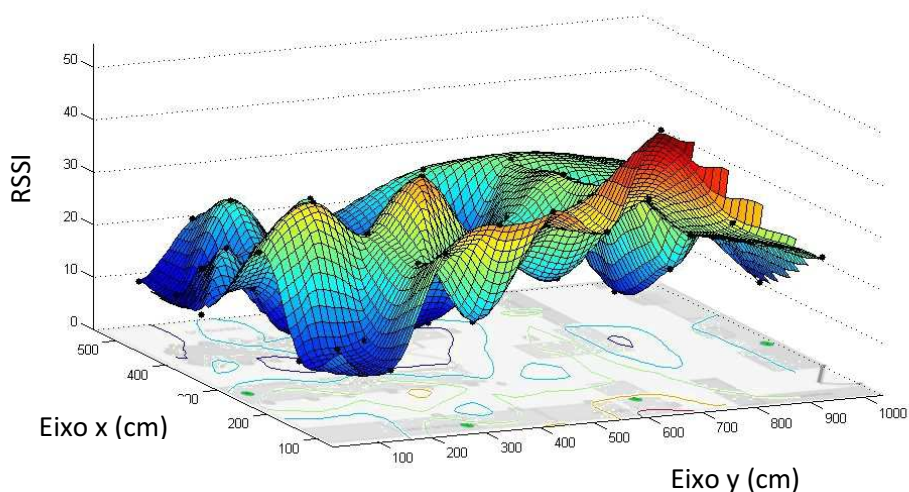


Figura 26 - RSSI médio medido no laboratório pela Leitora 0.

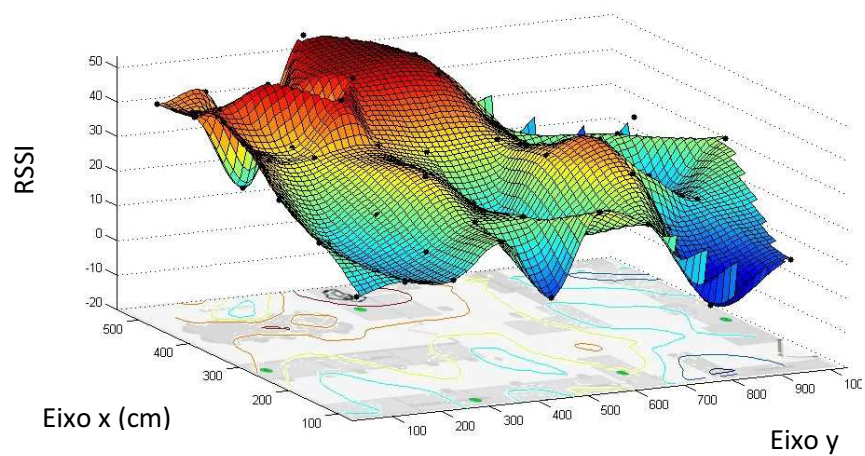


Figura 27 - RSSI médio medido no laboratório pela Leitora 1.

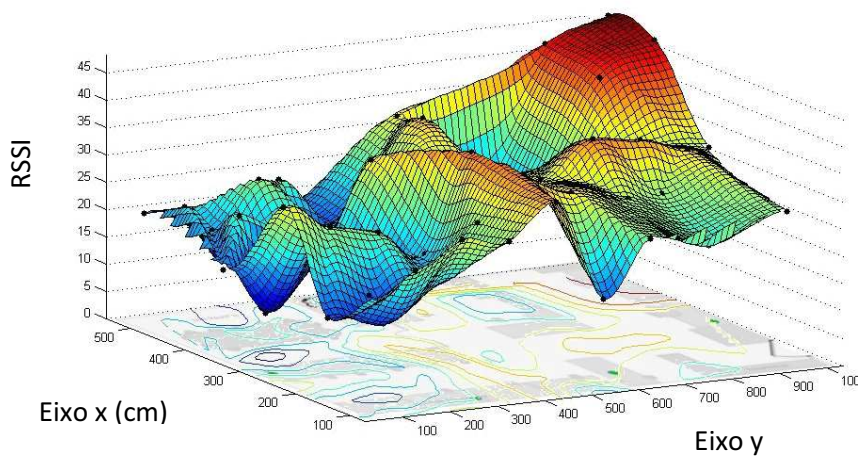


Figura 28 - RSSI médio medido no laboratório pela Leitora 2.

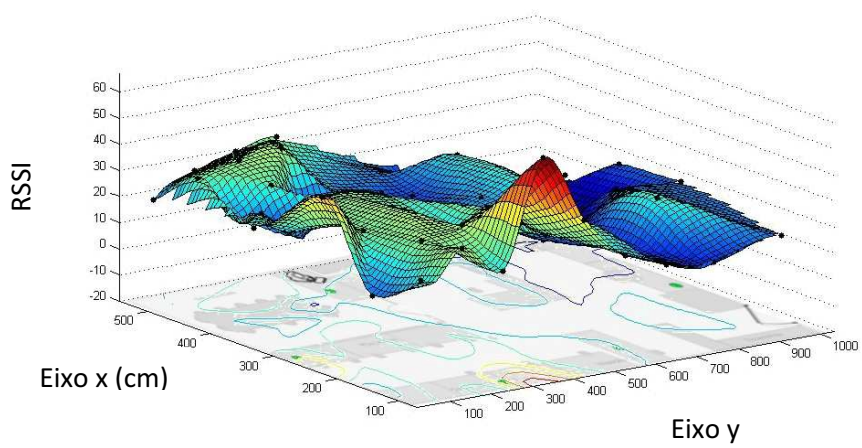


Figura 29 - RSSI médio medido no laboratório pela Leitora 3.

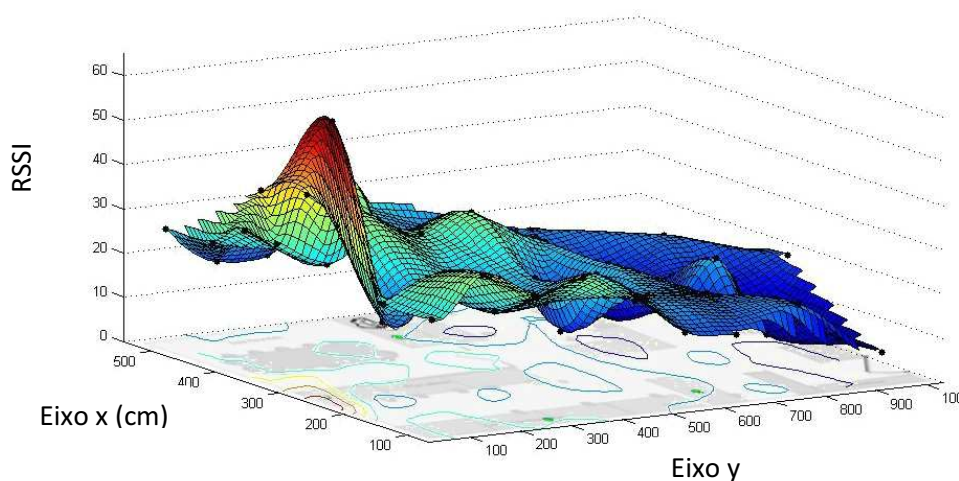


Figura 30 - RSSI médio medido no laboratório pela Leitora 4.

É possível observar que, como era de se esperar, as leituras são mais fortes nas proximidades da leitora, onde as cores são sempre vermelhas. Um fato importante, porém, é que em alguns pontos o RSSI é baixo para quase todas as leitoras. Como exemplo pode-se citar o armário de metal nas coordenadas $x=500$ e $y=800$, o tirante de ferro em $x=200$ e $y=500$, e um conjunto de fontes empilhadas em $x=30$ e $y=500$. Esses pontos causam vales na curva e tornam-na extremamente difícil de modelar. Essa é justamente a grande motivação para se utilizar redes neurais. Neste caso dispensa-se a modelagem por elementos finitos da propagação de ondas eletromagnéticas em ambientes prediais.

Os ambientes foram divididos de acordo com a Figura 31, procurando separar um ambiente para cada aparelho de ar condicionado.

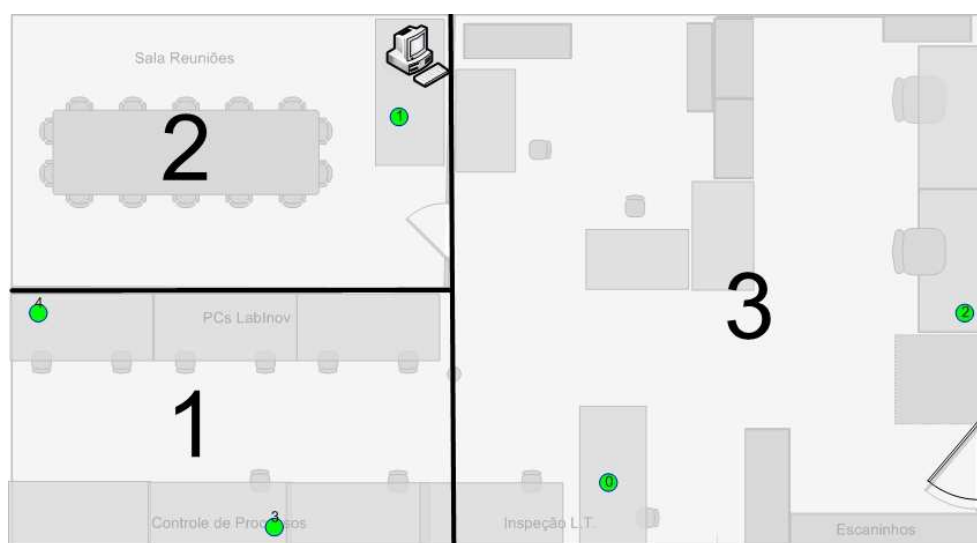


Figura 31 – Definição de classes ambiente visando à posição dos aparelhos de ar condicionado.

5.2 Pré-processamento dos Sinais

Com o propósito de facilitar o treinamento da rede neural, foram tomadas duas atitudes quanto aos dados de treinamento e operação antes de inseri-los na rede.

5.2.1 Normalização

Como os dados enviados pelas leitoras sempre estão entre 70 e 140, foi feita uma normalização dos dados subtraindo-se 70 pontos de todos os dados. Dessa forma trabalha-se com dados como 10 e 20, e não como 80 e 90.

5.2.2 Filtro de Kalman

Como os dados enviados pelas leitoras são muito ruidosos, foi proposto a utilização de um Filtro de Kalman, FK, para amenizar os efeitos desses ruídos. O FK é um filtro estocástico que estima a posição da *tag* baseado no modelo do sistema, juntamente com a incerteza associada à medida. Ele é útil, também, para quando não há dados disponíveis, como é o caso quando há perda de pacotes das leitoras. Quando os dados chegam, o FK corrige suas estimativas. Como não se conhecia, a priori, o modelo do sistema, foi utilizado um modelo muito simples, conforme a equação a seguir:

$$\widehat{\mathbf{R}}_k = \widehat{\mathbf{R}}_{k-1} + \mathbf{w} \quad (2)$$

Onde $\widehat{\mathbf{x}}_k$ é a estimativa vetorial da k-ésima entrada com dados das 5 leitoras e $\mathbf{w}$ é um vetor com 5 posições de ruído gaussiano.

5.3 Treinamento da Rede Neural Artificial

Como mencionado, a topologia de rede escolhida foi um perceptron multicamadas. Os dados coletados e pré-processados de acordo com os passos anteriores foram utilizados para treinar a rede com os códigos em Matlab descritos no APÊNDICE B.

Os parâmetros da rede utilizados foram:

- Função de treinamento: Trainlm
- Função de ativação: Tansig
- Razão de treinamento: 100%
- Razão de teste: 0%
- Razão de validação: 0%

As funções de treinamento e de ativação são padrões (*default*) no Matlab e as mais indicadas para a maioria das aplicações. A razão de treinamento foi modificada de 80% para 100% porque quando isso não foi feito, percebeu-se que alguns pontos não eram treinados. Isso aconteceu, pro-

vavelmente, porque não foram coletados dados suficientes para haver redundância suficiente em cada ponto.

Baseando-se nos testes da seção 4, assumiram-se as premissas abaixo foram tomadas para se aproximar o máximo possível de condições ideais.

- Sempre foi utilizada a mesma *tag*, tanto para testes, como para validação;
- A *tag* estava sempre na mesma orientação: com o chanfro apontando para o sul;
- A *tag* estava sempre em repouso;
- A medida do possível, os treinamentos e testes foram feitos com o mínimo de pessoas no laboratório.

No próximo capítulo são apresentados os resultados obtidos no experimento, e é feita uma análise da rede neural utilizada.

6. Resultados

Para validação, o sistema foi testado em 12 pontos pelo laboratório. Foram escolhidos arbitrariamente 4 pontos em cada ambiente, de acordo com a Figura 32.

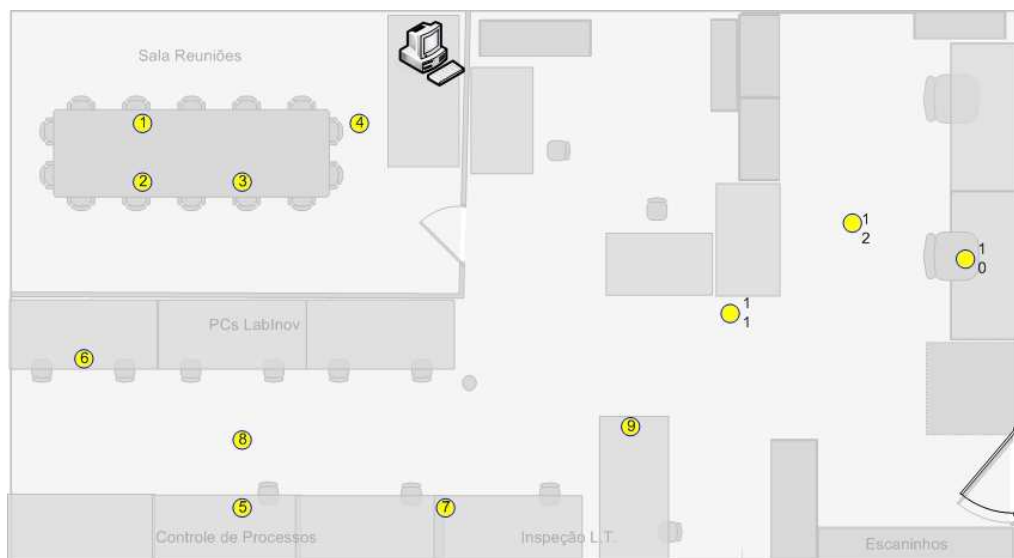


Figura 32 - Pontos escolhidos para validação.

Foram feitos testes com redes com 3, 4, 5, 6 e 7 neurônios na camada oculta. No gráfico abaixo, os resultados são apresentados. Para as medidas de erro, foi calculado o módulo da distância entre o ponto real de validação e as coordenadas apontadas pelo sistema.

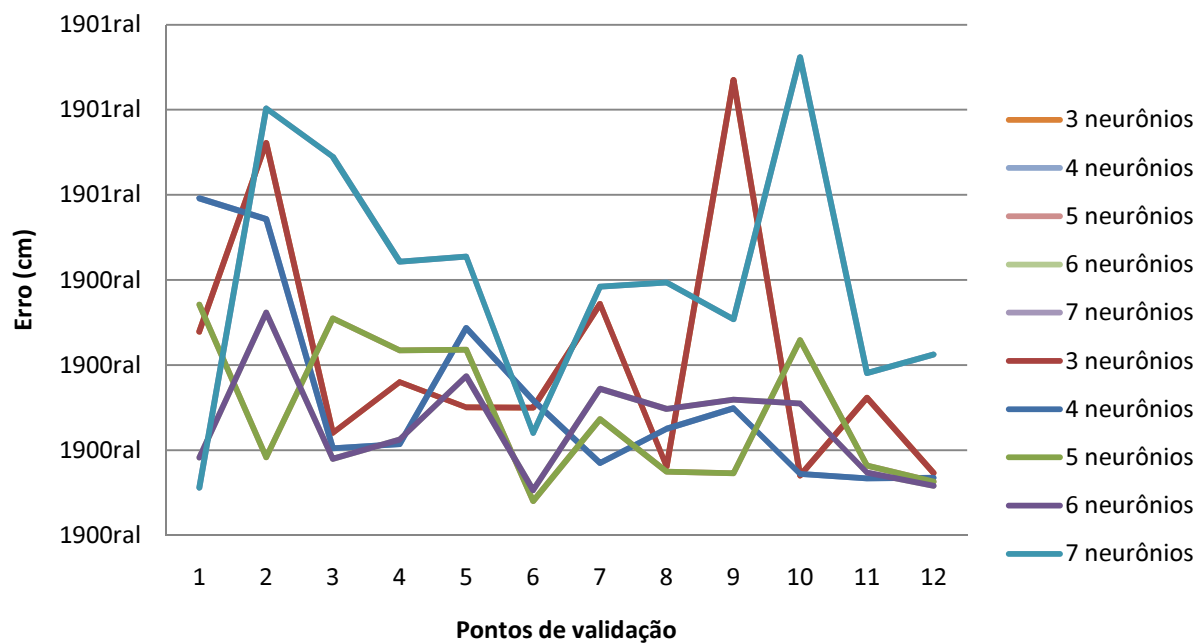


Figura 33 - Erros das redes nos 12 pontos escolhidos para validação.

Os próximos gráficos mostram os erros médios de cada rede. Na Figura 34 mostram-se os erros médios com relação à distância do ponto avaliado para cada rede. A Tabela 4 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e a Figura 35 mostram os acertos de cada rede com relação aos ambientes avaliados.

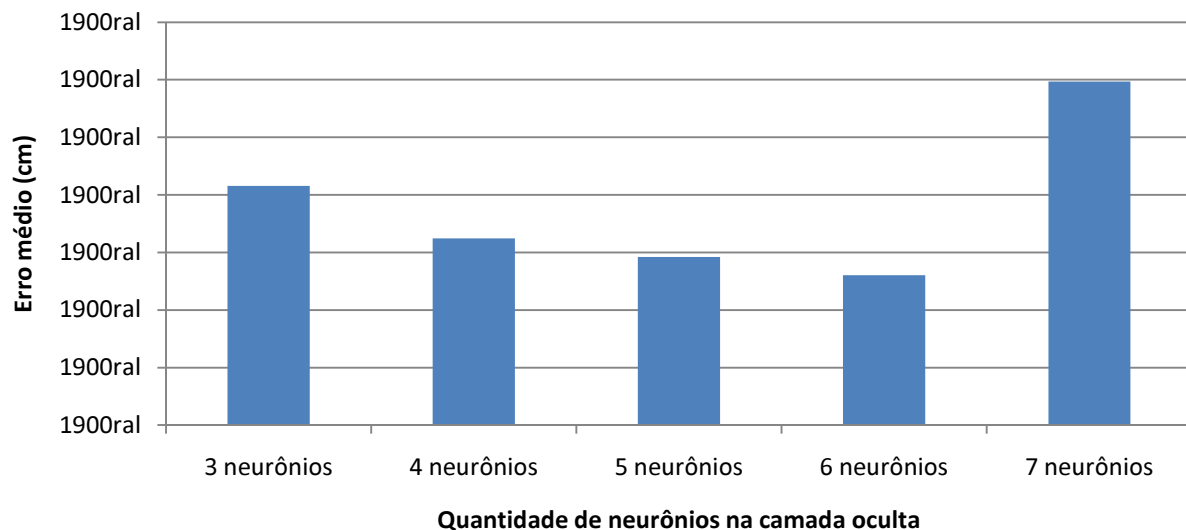


Figura 34 - Erros médios das redes com relação à distância.

Tabela 4 - Índice de acerto das redes neurais treinadas para ambientes.

Quantidade de neurônios na camada oculta	Índice de acerto (%)
3	83
4	75
5	58
6	67
7	58

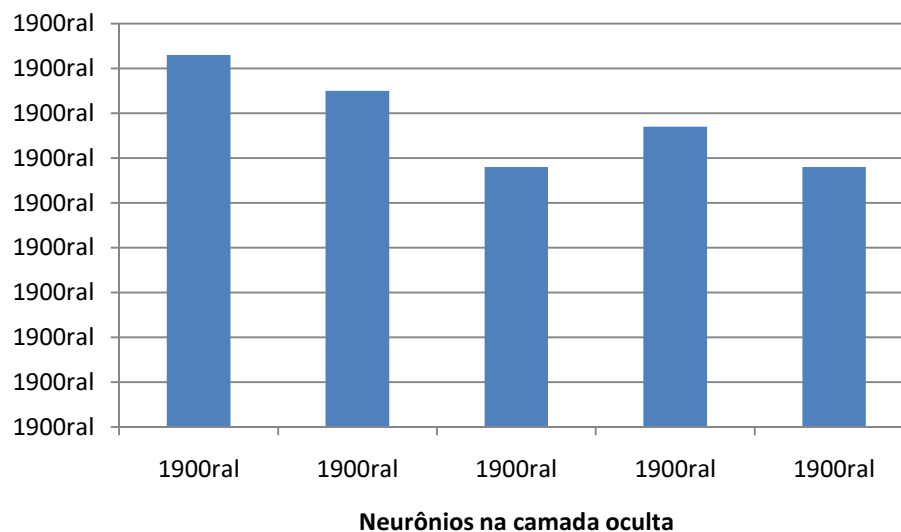


Figura 35 - Índice de acertos (%) da rede neural para ambientes com 3 a 7 neurônios na camada oculta.

Usualmente, para o número de neurônios na camada oculta de um PMC, soma-se o número de entradas com o número de saídas e divide-se por dois. No caso, esse número seria 4. Por esse motivo foram testadas redes com 3 neurônios, 4, e assim por diante enquanto o desempenho melhorava.

O melhor resultado foi encontrado com 6 neurônios na camada oculta, um pouco a mais do que o esperado. Isso, porém, é explicado pela complexidade do sistema.

Com 7 neurônios a rede claramente apresentou *overfitting*. Esse fenômeno acontece quando, pelo motivo de a rede ter neurônios demais, ela interpola pontos fora do esperado. A Figura 36 mostra um exemplo que isso acontece. Os pontos são as entradas e dizem respeito à reta, porém com ruído. Entretanto, a rede aproximou a função em vermelho por ter muitos neurônios. Na mesma linha, a rede com 3 neurônios cometeu *underfitting*, que é basicamente o contrário: a rede não consegue interpolar os pontos por não ter neurônios suficientes, como exemplificado pela Figura 37, onde os pontos são de uma curva parecida com uma senoide, mas, por não obter neurônios suficientes, a rede aproximou a função para uma curva diferente.

A rede com 6 neurônios, então, teve o melhor desempenho dentre as testadas. E esse desempenho teve um erro médio de aproximadamente 130 cm, conforme a Tabela 5.

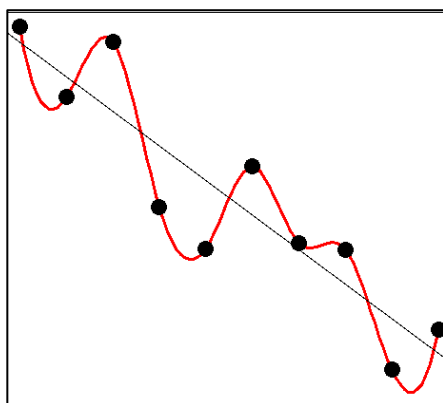


Figura 36 - Ilustração de *overfitting* (FAGAN).

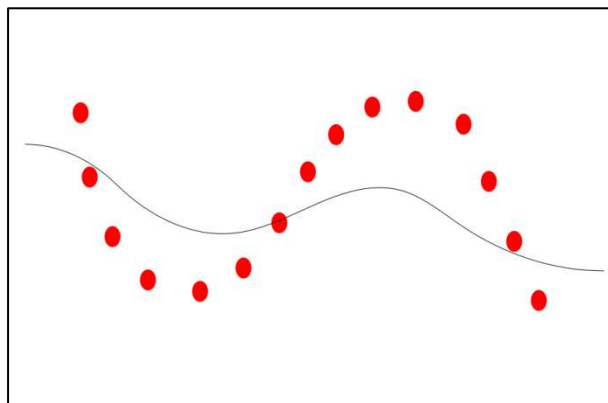


Figura 37 - Ilustração de *underfitting*.

Tabela 5 - Erros médios de cada rede treinada e testada.

	Erro médio (cm)
3 neurônios	207,8908
4 neurônios	162,2003
5 neurônios	146,0523
6 neurônios	130,1856
7 neurônios	298,3745

Esse valor para erro é, a princípio, aceitável para a aplicação proposta. Os ambientes são, normalmente, muito maiores que essa medida. Por outro lado, é comum haver mesas e cadeiras próximas a paredes. Caso algum usuário esteja numa posição a menos de 130cm de uma parede separando ambientes, é possível que o sistema acuse-o como estando no outro ambiente. Isso faria com que o aparelho de ar condicionado do outro ambiente fosse acionado, e não o do ambiente onde ele, de fato, se encontra. Como resultado haveria grande desperdício de energia caso no outro ambiente não houvesse ninguém, e desconforto para o usuário.

Quanto à terceira saída da rede, referente aos ambientes, obteve-se um resultado superior a 80% com 3 neurônios na camada oculta. Esse resultado é positivo e mostra como a rede neural é capaz de classificar padrões desconexos, pois o ambiente 1 faz fronteira com o ambiente 3, e, mesmo assim, a rede neural raramente fez confusão.

Como verificado no teste da sessão 4.5, há grande influência das pessoas no RSSI lido pelas leitoras. Esse problema pode ser minimizado com um Filtro de Kalman na entrada da rede neural, como proposto. O FK é capaz de anular ruídos não muito grandes na entrada da rede. Isso evita que *tag* paradas pareçam em movimento para o sistema. Por outro lado, ele atrasa o sistema quando a *tag* de fato se desloca. Além disso, vale ressaltar que, a partir do momento que o sinal de entrada estabiliza, o resultado do sistema passa a ser o mesmo com ou sem FK.

Um fato curioso ocorreu durante a validação. Por vezes, quando alguns dados muito espúrios eram coletados por alguma leitora, a rede extrapolava para fora do laboratório, numa posição ilustrada pela Figura 38. E, curiosamente, a saída referente a ambientes da rede acusava que a *tag* estava no “ambiente 4”. Isso é compreensível, já que os ambientes 1 e 2 são à esquerda, de acordo com a figura, e depois é o ambiente 3, à direita. Logicamente, o próximo, mais a direita ainda, seria o 4. Sabe-se que o PMC tem uma baixa capacidade de extrapolação, então é muito interessante que a rede tenha sugerido esse “novo ambiente”.

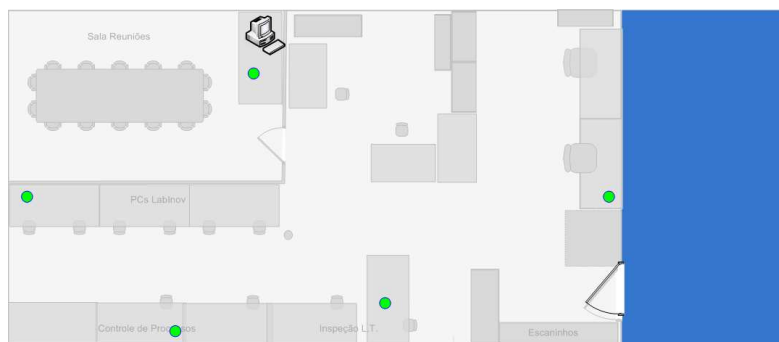


Figura 38 - Ambiente 4.

7. Conclusões

O sistema desenvolvido tinha como objetivo localizar os usuários do LARA com a finalidade de racionalizar energia por meio da automatização dos aparelhos de ar condicionado. Este trabalho focou-se em localização com RFID e redes neurais. Foi montada uma estrutura com cinco leitoras para mapeamento de três ambientes do LARA, incluindo a sala de reuniões.

O sistema conseguiu localizar a *tag* com um erro médio de 1,5 m, e chegou a acertar o ambiente onde a *tag* estava localizada em 83% das vezes durante a validação.

Foi verificado que não é possível mapear todo o laboratório com apenas 5 leitoras. Seriam necessárias mais de 10 leitoras para isso, e a viabilidade dos custos teria de ser reavaliada.

Por fim, foi possível verificar que a tecnologia RFID pode ser usada para localização por RSSI. Entretanto, para que o sistema se torne viável para utilização, algumas premissas devem ser tomadas, e é preciso tomar providências para que não sejam necessárias as condições ideais utilizadas para este trabalho. A precisão alcançada ficou muito aquém daquela que os artigos da literatura atingiram, entretanto os respectivos testes foram feitos em ambientes mais controlados, e menores. Quando o ambiente aumenta, e novas perturbações são inseridas no sistema, ele precisa se tornar mais robusto.

Quanto à finalidade deste trabalho para o projeto Ambientes Inteligentes, ainda é preciso amadurecimento. O sistema seria capaz de detectar que não há pessoas no ambiente, e poderia ser utilizado para desligar o sistema de refrigeração neste caso. Entretanto, caso haja um usuário próximo à fronteira entre dois ambientes, o sistema pode não localiza-lo corretamente.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Seria interessante colocar um filtro, como o Filtro de Kalman, na saída da rede, e usar a estimativa como novas entradas para a rede no próximo instante de tempo. Isso aumentaria o volume de informação disponível, acrescentando conhecimento do modelo do sistema.
- Testar abordagem com redes neurais de topologia LVQ. A rede LVQ é indicada para classificação. No caso, seria interessante mapear pontos dentro de um ambiente específico, como a sala de reuniões, e indicar para a rede como sendo uma classe.
- Este trabalho foi realizado com as leitoras na periferia do ambiente. De acordo com a Figura 18 e Figura 19 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** as leituras são melhores quando a *tag* está mais próxima das leitoras. Se as leitoras fossem posicionadas mais próximas do centro do laboratório, elas estariam mais próximas das *tags* na maioria dos casos. Isso otimizaria a área de alcance da antena da leitora, e possivelmente melhoraria o desempenho do sistema como um todo porque os dados seriam mais confiáveis.
- O Filtro de Kalman utilizado é de primeira ordem, desconsiderando o modelo real do sistema. Caso o sistema fosse melhor modelado, e um FK mais robusto fosse utilizado, o sistema ficaria ainda mais imune a ruídos e oscilações indesejadas.

Fontes Bibliográficas

AARTS, E.; HARWIG, R.; SCHUURMANS, M. Ambient Intelligence. In: _____ **The Invisible Future: The Seamless Integration Of Technology Into Everyday Life**. [S.l.]: McGraw-Hill Companies, 2001.

BAUCHSPIESS, A. Notas de Aula Disciplina "Introdução ao Controle Inteligente Numérico", 2/2010. Disponível em: <<http://www.lara.unb.br/~bauchspiess/ICIN/isi.pdf>>. Acesso em: 24 janeiro 2011.

COUTO, F. L.; FIGUEIREDO, L. F. C. **Medição Móvel de Conforto Térmico para Rede de Automação Predial Wireless. Trabalho de Graduação, Engenharia de Controle e Automação, Universidade de Brasília, 2008**. Brasília, DF.: [s.n.].

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. New York: McGraw-Hill, 1970.

GUANG-YAO, J.; XIAO-YI, L.; MYONG-SOON, P. **An Indoor Localization Mechanis Using Active RFID Tag**. Taichung: [s.n.]. 2006.

HECHT, E. **Ótica**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002.

KHOURY, H. M.; KAMAT, V. R. Evaluation of position tracking technologies for user localization in indoor contruction environments. **Automation in Construction**, 2008.

LAMBERTS, R. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**, 2010. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/>>.

LANDT, J. The History of RFID. **IEEE Potentials**, outubro/novembro 2005.

SHINODA, A. V.; SANTOS, L. T. M. D. **Implementação de Nó Móvel de Conforto Térmico**. Brasília. 2010.

SILVA, I. N. D.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. **Redes Neurais Atificiais**. São Paulo: Artliber, 2010.

SILVA, L. B. D. **Análise da Relação entre Produtividade e Conforto Térmico: O Caso dos Digitadores do Centro de Processamento de Dados e Cobrança da Caixa Econômica Federal de Estado de Pernambuco**. Florianópolis: Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

SUCH, R. **Implementação de um controlador Fuzzy em um sistema de refrigeração híbrido através de uma rede ZigBee. Trabalho de Graduação, Engenharia de Controle e Automação, Universidade de Brasília**. Brasília, DF. 2009.

THRUN, S.; BURGARD, W.; FOX, D. **Prpbabilistic Robotics**. 1a. ed. Cambridge: The MIT Press, 2005.

Sites consultados

ACTIVE RFID System Frequencies. **IDTechEX**, 24 maio 2004. Disponível em: <http://www.idtechex.com/research/articles/active_rfid_system_frequencies_00000024.asp>. Acesso em: 04 setembro 2010.

AR Condicionado Split Springer Carrier 30.000 btus. **Air Shopping**. Disponível em: <<http://www.airshopping.com.br/ar-condicionado-split-springer-carrier-30.000-btus.html>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

CARRENDER, C. Focus on RFID's Value, Not Tag Cost. **RFID Journal**, 02 novembro 2009. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/article/view/5339>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

COP 15. **Globo.com**, 31 março 2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Sites/Especiais/0,17816,00.html>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

CRISE do apagão. **Wikipedia**, 06 agosto 2010. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Crise_do_apag%C3%A3o>. Acesso em: 04 setembro 2010.

DEFEITO em subestação de PE causou apagão no Nordeste, diz Chesf. **Estadão**, 2011. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/geral,defeito-em-subestacao-de-pernambuco-provocou-apagao-no-nordeste,675171,0.htm>>. Acesso em: 09 fevereiro 2011.

DOBKIN, D. M. The RF in RFID: physical layer operation of passive UHF tags and readers. 4. RFID Frequency Bands. **Enigmatic-consulting**, outubro 2005. Disponível em: <http://www.enigmatic-consulting.com/Communications_articles/RFID/RFID_frequencies.html>. Acesso em: 04 setembro 2010.

É a Segurobrás. **Estadão.com.br**, 13 julho 2010. Disponível em: <<http://blogs.estadao.com.br/celso-ming/tag/belo-monte/>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

EPCGLOBAL. **Wikipedia**, 2010. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/EPCglobal>>. Acesso em: 10 fevereiro 2011.

FAGAN, J. **Orbital Teapot**. Disponível em: <http://orbitalteapot.blogspot.com/2009_03_01_archive.html>. Acesso em: 04 fevereiro 2011.

FIRAT, M. Image Recognition with Neural Networks. **The Code Project**, 30 outubro 2007. Disponível em: <<http://www.codeproject.com/KB/cs/BackPropagationNeuralNet.aspx>>. Acesso em: 26 janeiro 2011.

GERAÇÃO de energia. **Wikipedia**, 18 agosto 2010. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Gera%C3%A7%C3%A3o_de_energia>. Acesso em: 04 setembro 2010.

GET Started. **RFID Journal**. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/article/gettingstarted/>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

KEY Elements in Intelligent Buildings. **Xinca.com - HVAC Controls & ELV Systems**, 21 março 2009. Disponível em: <<http://xinca.com/elements-intelligent-buildings-4.html>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

MIDDLEWARE RFID. **RFID Technology**, 09 outubro 2009. Disponível em:
<<http://rfidtek.blogspot.com/2009/10/middleware-rfid.html>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

PACKTER, L. Neurofisiologia Introdutória. **Filosofia a Distância**. Disponível em:
<<http://www.filosofiaadistancia.com.br/grava%C3%A7%C3%B5es%20agosto/Neuroci%C3%Aancias/Neuroci%C3%Aancia%20-%20apostila%20l.htm>>. Acesso em: 24 janeiro 2011.

PORQUE precisamos da Usina de Paulo Afonso V. **Paulo Afonso Notícias**, 09 maio 2010. Disponível em: <<http://www.pauloafonso noticias.com.br/internas/read/?id=9218>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

PROBLEMA em Itaipu causa apagão em 18 Estados do País. **Terra**, 2009. Disponível em:
<<http://noticias.terra.com.br/brasil/noticias/0,0I4094129-EI8139,00-Problema+em+Itaipu+causa+apagao+em+Estados+do+Pais.html>>. Acesso em: 09 fevereiro 2011.

PRODUTOS - AcuWave. **Acura Security**. Disponível em:
<<http://www.acura.com.br/acurasecurity/aw.html>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

PROTOCOLO de Quioto. **Wikipedia**, 01 setembro 2010. Disponível em:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Quioto>. Acesso em: 04 setembro 2010.

ROBERTI, M. The History of RFID Technology. **RFID Journal**. Disponível em:
<<http://www.rfidjournal.com/article/view/1338>>. Acesso em: 09 fevereiro 2011.

SOLAR. **Celpe**. Disponível em:
<<http://www.celpe.com.br/O%20SETOR%20ELETRICO/ENERGIA%20ALTERNATIVA/SOLAR/37728%3B45983%3B100102%3B0%3B0.asp?c=101>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

TABELAS de consumo/eficiência energética. **Inmetro**. Disponível em:
<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

WHAT is RFID? **RFID Journal**. Disponível em:
<<http://www.rfidjournal.com/article/view/1339/1/129>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Neste apêndice serão apresentados dados que justificam a alteração da estrutura inicial do sistema.

Inicialmente era planejada a instalação das leitoras no laboratório de acordo com a Figura 15. Porém, ao coletar os dados, verificou-se que na maioria dos pacotes uma ou mais leitoras não enviavam informações. A Tabela 6 apresenta uma amostra de conjuntos de dados (valores de RSSI normalizados) coletados na sala de reuniões com a configuração inicial das leitoras no LARA. Percebe-se que as leitoras 0 e 3 não enviaram sinais, e o valor de RSSI enviado pela leitora 2 foi muito baixo, sendo igual a 0 em muitos casos. Quanto menos dados disponíveis, mais difícil é calcular a localização, portanto foi decidido alterar a configuração das leitoras para aquela da Figura 16. Depois da alteração os dados eram mais consistentes, com informações de todas as leitoras em quase todos os pacotes, conforme a Tabela 3.

Tabela 6 - Amostra de dados (valores de RSSI) coletados na sala de reuniões com a configuração inicial das leitoras no LARA.

Leitora 0	Leitora 1	Leitora 2	Leitora 3	Leitora 4
0	21	2	0	28
0	20	4	0	29
0	18	0	0	29
0	17	0	0	29
0	17	3	0	28
0	12	0	0	30
0	16	5	0	27
0	16	0	0	27
0	17	0	0	27
0	17	0	0	29
0	17	3	0	29
0	17	3	0	27
0	17	0	0	28
0	18	3	0	28
0	17	4	0	29
0	18	0	0	27
0	21	0	0	29
0	20	3	0	28
0	19	0	0	28
0	20	0	0	30
0	19	5	0	28
0	19	0	0	28
0	19	0	0	28

APÊNDICE B

Neste apêndice são apresentados os comandos em Matlab utilizados neste trabalho.

```
%retorna a transposta das matrizes de entrada
%aceita uma quantidade variável de parâmetros
function varargout = transposta(varargin)
    for i=1 : size(varargin,2)
        varargout{i}=varargin{i}';
    end
end

%gera as matrizes alvo para a rede neural
s150x150 = repmat([150;150;1],1,length(e150x150(1,:)));
(Esse comando se repete para todas os conjuntos de entradas)

%recebe como entrada os conjuntos de treinamento, os conjuntos alvo, e a
%quantidade de neurônios na camada oculta
%retorna uma rede neural PMC treinada com 100% dos conjuntos de dados para
%treinamento, e 0% para validação e teste.
function n = newnet(entradas,saidas,neuronios)
    n=newff(entradas,saidas,neuronios);
    n.divideParam.testRatio=0;
    n.divideParam.trainRatio=1;
    n.divideParam.valRatio=0;
    n=train(n,entradas,saidas);
end

%inicia as constantes e variáveis necessárias para o Filtro de Kalman
n=5; %número de entradas
q=0.5; %desvio padrão do processo
r=2; %desvio padrão das medidas
Q=q^2*eye(n); %covariância do processo
R=r^2*eye(n); %covariância da medida
f=@(x)[x(1);x(2);x(3);x(4);x(5)]; % equações de estado não lineares
h=@(x)[x(1);x(2);x(3);x(4);x(5)]; % Equações das medidas
s=[40;20;20;45;22]; % estado inicial
x=s+q*randn(5,1); % Estado inicial com ruído
P = eye(n); % covariância do estado inicial

% EKF Filtro de Kalman Estendido para sistemas dinâmicos não lineares
% [x, P] = ekf(f,x,P,h,z,Q,R) retorna a estimativa do estado em x e a co-
% variância em P
% para sistemas dinâmicos não lineares
% x_k+1 = f(x_k) + w_k
% z_k = h(x_k) + v_k
% onde w ~ N(0,Q) significa que w é um ruído gaussiano com covariância Q
% v ~ N(0,R) significa que v é um ruído gaussiano com covariância R
% entradas: f: handle da função para f(x)
% x: estimativa do estado "a priori"
% P: estimativa da covariância "a priori"
% h: handle da função para h(x)
% z: medida atual
```

```

%          Q: covariância do ruído do processo
%          R: covariância do ruído da medida
% saídas:  x: estimativa do estado "a posteriori"
%          P: covariância do estado "a posteriori"
%
% Função desenvolvida por Yi Cao na Universidade de Cranfield em 01 de fe-
% vereiro de 2008
%
function [x,P]=ekf(fstate,x,P,hmeas,z,Q,R)
[x1,A]=jaccsd(fstate,x);
P=A*P*A'+Q;
[z1,H]=jaccsd(hmeas,x1);
P12=P*H';
K=P12*inv(H*P12+R);
x=x1+K*(z-z1);
P=P-K*P12';
function [z,A]=jaccsd(fun,x)
z=fun(x);
n=numel(x);
m=numel(z);
A=zeros(m,n);
h=n*eps;
for k=1:n
    x1=x;
    x1(k)=x1(k)+h*i;
    fun(x1);
    A(:,k)=imag(fun(x1))/h;
end

%calcula a estimativa das medidas por Filtro de Kalman e entra os dados na
%rede neural
[x, P] = ekf(f,x,P,h,z,Q,R);
round(sim(net,x))
x

```