



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais

CINTIA PRISCILA YOSHIMURA
GUILHERME HIROSHI FUJII
PAULA SERIKAKU
RENATO BARRETO FONSECA VAZ

Sistema de gerenciamento de estacionamentos com uso
da tecnologia ZigBee

ZigNetPark

São Paulo

2006

CINTIA PRISCILA YOSHIMURA
GUILHERME HIROSHI FUJII
PAULA SERIKAKU
RENATO BARRETO FONSECA VAZ

**Sistema de gerenciamento de estacionamento
com uso da tecnologia ZigBee
ZigNetPark**

Projeto de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo.

Área de Concentração: Computação

Orientador: Prof. Dr. André Riyuiti Hirakawa

Co-Orientador: Prof. Dr. Moacyr Martucci Jr.

São Paulo

2006

FOLHA DE APROVAÇÃO

Cintia Priscila Yoshimura

Guilherme Hiroshi Fujii

Paula Serikaku

Renato Barreto Fonseca Vaz

Sistema de gerenciamento de estacionamentos com uso da tecnologia ZigBee

Projeto de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo.
Área de Concentração: Computação

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. André Riyuiti Hirakawa e ao Prof. Dr. Moacyr Martucci Jr., pela atenção e apoio durante a definição do projeto, pelo suporte durante a implementação e pelas constantes orientações em diversas ocasiões, sendo técnicas ou não.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pelos equipamentos disponibilizados, pelo espaço cedido e, principalmente, pelos cinco anos de constante aprendizado de altíssima qualidade e preocupação com a nossa formação como pessoas e profissionais.

Aos amigos Leandro Seki, Gustavo Moreira e Leandro Casetta pelas informações relativas a telecomunicações e César Kuroiwa e Thiago Moreira pelo apoio na área de desenvolvimento do sistema.

Aos amigos Paulinha Morita e Eduardo Salomão pela colaboração na elaboração do *business plan* e ao Professor Doutor Edson Fregni e ao Professor Gustavo Roxo, pela oportunidade que ofereceram ao grupo para desenvolver as idéias do projeto como um negócio, apresentando, junto com a turma da disciplina PCS2590, críticas e sugestões muito construtivas.

À BP&M Representações e Consultoria Ltda, pelo empréstimo do kit de desenvolvimento da Silicon Laboratories, para que o grupo pudesse desenvolver o projeto.

Aos amigos Leandro Seki e novamente Thiago Moreira e Paulinha Morita pelo constante apoio ao longo do ano, sempre opinando e colaborando com o grupo e principalmente, pela companhia que sempre nos fizeram ao longo do projeto.

Por fim, aos namorados e namoradas, Cesar Kuroiwa, Leandro Casetta, Marcele Kondo e Natalia Dias, além das nossas famílias, pelo apoio, compreensão e constante incentivo.

Epígrafe

"É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.

Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.

Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver ..."

Martin Luther King

Resumo

O objetivo deste projeto é desenvolver um sistema inovador de gerenciamento de vagas de estacionamento com a utilização da tecnologia ZigBee. O projeto envolve, portanto, o estudo da tecnologia, ainda em crescimento e expansão, e a implementação, tanto do projeto físico, com a utilização dos módulos de comunicação, como do projeto do sistema, que deve ser desenvolvido para realizar o gerenciamento das vagas, implementando tanto a lógica de cálculos, o armazenamento dos dados em banco de dados e a interface do sistema. O intuito do projeto é auxiliar o motorista no estacionamento, ajudando-o a encontrar vagas livres quando chega e também a encontrar seu carro depois de estacionado, além de implementar o controle de entrada e saída de veículos, já existente nos sistemas atuais.

Palavras-Chaves: estacionamento, gerenciamento de vagas, ZigBee.

Abstract

The aim of this project is to develop a brand new system of parking space management of a parking lot with the use of the ZigBee technology. The project involves, therefore, the study of the technology, which is still under development and the implementation of both the physical project, which includes the use of the communication modules, and the backend system, that must be developed in order to accomplish the management of the parking spaces, which involves mathematical logic, database storage and user interface. The goal of the project is to aid the driver in the process of parking their car, by helping them find free spaces when they arrive at the parking lot, and finding their car after it has been parked, as well as controlling the arrival and departure of vehicles, a feature already existent in the current systems.

Key-Words: parking. ZigBee. parking space management

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Enquete para Análise de Viabilidade	15
Figura 2 - Gráfico das Respostas da Questão 4 da Enquete	16
Figura 3 - Fluxo de Veículos Mensal nos Shoppings do Grupo Iguatemi	18
Figura 4 - Tarifas e Faturamentos do Grupo Iguatemi	18
Figura 5 - Ilustração do campo de leitura do <i>transponder</i> (não omnidirecional)	23
Figura 6 - Possíveis topologias de uma rede ZigBee	25
Figura 7 - Triangulação da potência do sinal	26
Figura 8 - Fluxograma de uso do sistema de gerenciamento.....	36
Figura 9 - Arquitetura do Stack do Protocolo ZigBee	43
Figura 10 - Diagrama em blocos da aplicação ZigBee.....	45
Figura 11 - Inicialização dos Módulos.....	47
Figura 12 - Montagem e configuração da topologia de rede	49
Figura 13 – Inicialização da rede e associação de end devices.....	51
Figura 14 - Sincronização da comunicação com os End Devices	52
Figura 15 – Envio de endereços de end devices do software de gerência para o coordenador Master	53
Figura 16 - Transmissão e Medida da Potência.....	55
Figura 17 - Kit de desenvolvimento ZigBee	58
Figura 18 - Organização da Memória do C8051F120	62
Figura 19 - Comunicação Microcontrolador com Transceiver	64
Figura 20 - Diagrama de Casos de Uso.....	66
Figura 21 - Diagrama de Seqüência: MostraVagasDisponiveis.....	68
Figura 22 - Diagrama de Seqüência: AtualizaLocalização	69
Figura 23 - Diagrama de Seqüência: InsereCarroNoSistema	70
Figura 24 - Diagrama de Seqüência: VerificaLocalização.....	71
Figura 25 - Diagrama de Seqüência: ExcluiVeiculoDoSistema	72
Figura 26 - Diagrama de Seqüência: ValidaSaida	73
Figura 27 - Diagrama de Classes	74
Figura 28 - Diagrama Entidade-Relacionamento	75

Figura 29 - Equação de Transmissão de Friis.....	77
Figura 30 - Gráfico Equação de Friis - Relação Potência Sinal x Raio.....	79
Figura 31 - Gráfico Variação da Umidade Relativa do Ar.....	81
Figura 32 - Gráfico Teste: Primeiro Ambiente.....	82
Figura 33 - Gráfico Teste: Segundo Ambiente.....	82
Figura 34 - Método de escolha da localização das antenas fixas.....	85
Figura 35 - Estacionamento do Prédio da Elétrica.....	86
Figura 36 - Funcionamento da Triangulação.....	88
Figura 37 - Funcionamento da Triangulação no Projeto Real.....	89
Figura 38 - Equação da Posição x (Dois pontos).....	90
Figura 39 - Equação da Posição Y (Dois pontos).....	90
Figura 40 - Estacionamento Simplificado.....	91
Figura 41 - Vaga Inclnada para a Esquerda e Direita.....	92

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Levantamento de dados de estacionamento de shopping de São Paulo.	17
Tabela 2 - Divisão de Atividades	39
Tabela 3 - Funções Inicialização dos Módulos.....	47
Tabela 4 - Funções de Montagem e configuração da topologia de rede	50
Tabela 5 - Bits Enviados pelo Canal Serial SI.....	65
Tabela 6 - Aplicação da Equação de Friis.....	78
Tabela 7 - Comparação entre Potências do Sinal - Teórico, Ambiente 1 e 2	83
Tabela 8 - Testes realizados em escala reduzida.....	94

Sumário

1.	Introdução.....	13
1.1.	Objetivo.....	13
1.2.	Motivação	14
1.3.	Pesquisa de Mercado.....	15
2.	Organização.....	20
3.	Aspectos Conceituais.....	21
3.1.	Sensor Ótico	21
3.2.	Localização do veículo.....	22
3.3.	Identificação do automóvel - <i>Transponder</i> e RFID.....	22
3.4.	<i>Transponder</i>	23
3.5.	RFID – Radio Frequency Identification	24
3.6.	Identificação do automóvel - ZigBee - A tecnologia escolhida	24
4.	Especificação do Projeto de Formatura.....	27
4.1.	Levantamento de Requisitos	27
4.1.1.	Funcionais	27
4.1.2.	Não Funcionais	29
4.2.	Tecnologia	32
5.	Metodologia	39
6.	Projeto e Implementação	42
6.1.	Hardware	42
6.1.1	Estrutura dos protocolos IEEE 802.15.4 e ZigBee.....	42
6.1.2	Desenvolvimento da aplicação ZigBee.....	44
6.1.3	Implementação do hardware.....	57
6.2.	Software.....	65
6.2.1.	Modelagem do Sistema.....	65
6.2.1.1	Diagrama de Casos de Uso e Atores do Sistema.....	66
6.2.1.2	Diagramas de Seqüência dos Casos de Uso	67
6.2.1.3	Diagrama de Classes.....	74
6.2.2	Implementação do Sistema para localização dos veículos	75
6.2.2.1	Busca potência do sinal e cálculo da moda.....	76

6.2.2.2	Calcula distância, efetuando a conversão	77
6.2.2.3	Método para a escolha do posicionamento das antenas fixas	85
6.2.2.4	Calcula localização (coordenadas x e y)	87
6.2.2.5	Identifica vaga.....	91
6.2.2.6	Testes do cálculo do ponto (x,y) e a identificação da vaga.....	93
7.	Considerações Finais.....	94
7.1.	Resultados Atingidos e Resultados Não Atingidos	94
7.2	Perspectivas de Continuidade.....	96
7.3	Comentários Individuais de Cada Componente.....	97
	Referências	101
	Anexos	105

1. Introdução

1.1. Objetivo

O objetivo do projeto de formatura é a obtenção de conhecimentos práticos e habilidades associadas à concepção, detalhamento e planejamento de implementação de um projeto, além de estarem associadas também à implementação, documentação e testes. Sendo um projeto que envolve tanto um projeto de hardware como de software, há também toda a integração que deve ser implementada e que é crucial para o sucesso total do projeto. O trabalho é feito em grupo, o que desenvolve a habilidade de trabalho em equipe e prepara os alunos para a realidade de trabalho no mundo real.

Após muita discussão, conversas e pesquisa, pensando em uma aplicação inovadora que utilizasse as tecnologias presentes no mercado, o grupo definiu o tema do projeto de formatura como sendo o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de vagas em um estacionamento de veículos, com a utilização da tecnologia ZigBee, um padrão publicado pela *ZigBee Alliance* para redes sem fio e que segue o padrão IEEE 802.15.4. [11].

O sistema deve identificar todas as vagas disponíveis para que o motorista possa escolher a vaga em que deseja estacionar seu veículo. Além disso, a localização dos veículos já estacionados é monitorada durante todo o tempo de permanência do veículo dentro do estacionamento, permitindo que o motorista possa, através de terminais de consulta, verificar em qual vaga seu carro está estacionado.

Ao fim do projeto, espera-se que o grupo tenha concluído todo o planejamento para o projeto, além de aprendido diversas novas técnicas de gerenciamento e execução de projetos na área de engenharia da computação. A habilidade de manter uma boa rede de contatos também se mostrou de extrema importância desde o início do projeto, quando o grupo procurou diversas pessoas, entre mestrandos, professores e especialistas para a definição do tema do projeto.

1.2. Motivação

Em relação à aplicabilidade prática, a proposta do projeto surgiu com a freqüente dificuldade em encontrar vagas livres em estacionamentos, tarefa que toma um longo tempo do motorista e acaba com a paciência de muitos, que acabam trocando lugares que costumam freqüentar por locais que ofereçam mais praticidade. Muitas vezes existem vagas disponíveis e que demoram a serem encontradas pelos motoristas por falta de informação e familiaridade com o estacionamento. Outro fator motivador foi o constante esquecimento do local onde o carro foi estacionado, justamente pela dificuldade encontrada pelos motoristas em se localizar dentro de enormes estacionamentos que em sua grande maioria são confusos e mal organizados. [8] [9] [10].

Atualmente, principalmente em shoppings, há o controle de veículos apenas para a cobrança por tempo de permanência. Entretanto, até agora, ainda não foi criado nenhum sistema que auxilie o motorista. O controle de veículos utilizado é feito apenas com a impressão de *tickets*, que devem ser validados em caixas na saída. Existe também o Sem Parar [20], que faz a cobrança automática dos veículos com a utilização de *transponders* localizados em cada veículo.

Este projeto tem como objetivo desenvolver um sistema que utiliza uma tecnologia em grande crescimento e que não sirva apenas para a cobrança, mas que auxilie o motorista nos estacionamentos.

Por utilizar uma tecnologia em grande crescimento como as redes sem fio, mais especificamente o ZigBee, e também ser uma aplicação ainda não existente no mundo real, este projeto pode apresentar um grande potencial de evolução. A tecnologia de redes sem fio se encontra atualmente em fase de acentuado aprimoramento, de forma que, ao longo do tempo, ela tende a aumentar cada vez mais o seu alcance e performance.

1.3. Pesquisa de Mercado

Para verificarmos a viabilidade do projeto com relação ao negócio e não com relação a parte técnica, o grupo realizou uma pesquisa de mercado, inicialmente conversando com pessoas que freqüentam shoppings e seus respectivos estacionamentos e notou que a grande maioria delas sentia essa dificuldade de encontrar vagas e que gostariam de um serviço de gerenciamento como este. Todavia, o grupo não satisfeito com estas respostas que poderiam focar apenas uma pequena parcela de opiniões e serem, portanto tendenciosas, optou por disponibilizar uma pequena enquete no site LinkGratis [21], com um número de acessos de 700 mil visitantes únicos por mês, para buscar mais respostas.

O objetivo principal desta enquete foi verificar se o este sistema de gerenciamento seria um fator de escolha do shopping e, por esta pesquisa apresentar-se num formato *"pop-up"* na página inicial do site LinkGrátis ela deveria ser simples e com poucas perguntas. Observe na figura abaixo as descrições destas perguntas.

1) Você utiliza os estacionamentos de shopping? <input type="checkbox"/> Sempre <input type="checkbox"/> Às vezes <input type="checkbox"/> Nunca
2) Você sente dificuldade em encontrar vagas livres nos estacionamento de shoppings? <input type="checkbox"/> Sempre <input type="checkbox"/> Às vezes <input type="checkbox"/> Nunca
3) Você sente dificuldade em encontrar o seu carro depois de ter estacionado? <input type="checkbox"/> Sempre <input type="checkbox"/> Às vezes <input type="checkbox"/> Nunca
4) Caso um shopping possua uma forma de informar a vaga em que foi estacionado e as vagas livres, isso seria um fator de escolha do shopping? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não

Figura 1 - Enquete para Análise de Viabilidade

Após esta enquete permanecer disponível durante três dias no site, as 318 respostas obtidas foram analisadas e aquelas que apresentaram a opção "Nunca" na questão 1, ou seja, que nunca utilizam o estacionamento de um *shopping*, foram excluídas pois não atendem ao pré-requisito da pesquisa. Observe no gráfico a seguir as respostas (282 pessoas) relacionadas à questão 4, a qual é, de fato, a mais importante para a implantação do projeto.

Sistema é fator de escolha para o shopping?

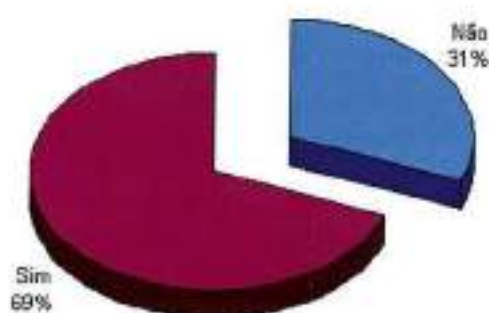


Figura 2 - Gráfico das Respostas da Questão 4 da Enquete

Como pode ser observado no resultado exposto acima, a grande maioria confirmou que o sistema de gerenciamento de vagas seria um fator de escolha para o *shopping* o que, portanto, auxilia a empresa a convencer a compra de seu sistema, pois desta forma, pode-se não só afirmar que o sistema ajudará e trará uma satisfação ao cliente, mas que também trará fidelidade do cliente àquele *shopping*.

Além disto, o grupo realizou uma pesquisa sobre os estacionamentos em São Paulo e notou que os *shoppings*, ultimamente, estão realizando uma série de obras para o aumento de seus estabelecimentos na tentativa de atrair os freqüentadores (26 milhões de pessoas por mês no estado de São Paulo) e, para isto ampliarão não só o número de lojas como também estacionamentos (conforme pode ser visto em shoppings como Eldorado, Morumbi e Iguatemi) [22]. Assim, este setor seria uma boa entrada para o mercado. Segundo notícia do SPTV do dia 3 de novembro de 2006, um em cada cinco shoppings da cidade de São Paulo estão sendo ampliados. [23]

Outro fator fundamental para a viabilidade deste negócio é o preço de venda deste sistema, assim como o valor da manutenção pago mensalmente pelos estacionamento, isto porque estes devem ser compatíveis com o investimento que o mercado está disposto a pagar por este serviço diferencial e, este valor, provavelmente, estará limitado pela renda obtida pelos shoppings devido à cobrança do estacionamento. Este valor pôde ser estimado e será apresentado adiante baseado em estatísticas encontradas [24], através das pesquisas realizadas, relacionadas ao fluxo de veículos mensal em alguns *shoppings*, que também estão dispostos a seguir.

Tabela 1 - Levantamento de dados de estacionamento de shopping de São Paulo

	Número de vagas	Fluxo de Pessoas (Pessoas/mês)	Fluxo de Veículos (Veíc./mês)	Preço Estacionamento (Período mínimo) (R\$)
Anália Franco	3200	ND	ND	R\$ 0,00
Butantã	2000	ND	ND	R\$ 0,00
Central Plaza	4500	ND	ND	R\$ 0,00
Eldorado	ND	1836000	ND	R\$ 4,00
Frei Caneca	4500	ND	ND	R\$ 6,00
Higienópolis	1350	1626000	ND	R\$ 4,00
Ibirapuera	3110	2400000	ND	R\$ 4,00
Iguatemi	1824	1450000	250000	R\$ 5,00
Interlagos	4800	3000000	ND	R\$ 0,00
Jardim Sul	1104	ND	ND	R\$ 4,00
Market Place	1800	810000	150000	R\$ 4,00
Morumbi	3000	ND	ND	R\$ 4,00
Metro Tatuapé	2011	ND	ND	R\$ 6,00
Villa Lobos	1591	ND	ND	R\$ 4,00

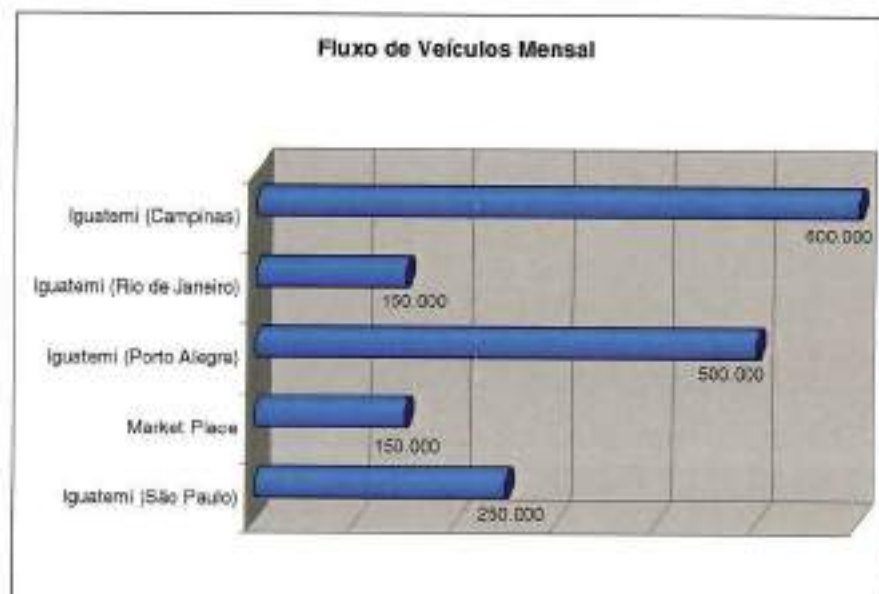


Figura 3 - Fluxo de Veículos Mensal nos Shoppings do Grupo Iguatemi

Por meio destes dados e os valores relacionados à cobrança do estacionamento por um período de até 4 horas, é possível obter as seguintes rendas mensais:

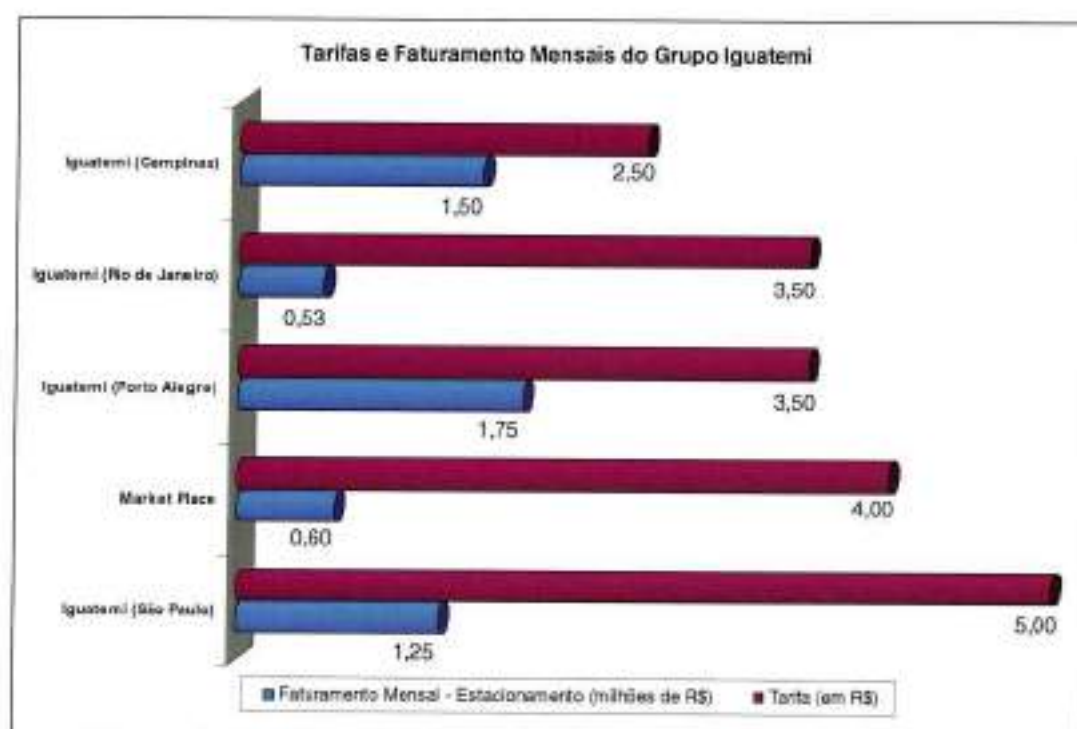


Figura 4 - Tarifas e Faturamentos do Grupo Iguatemi

Observando estes valores, é possível constatar que a receita gerada pelos shoppings com os estacionamentos é muito alta, se comparada com os gastos que deve ter de manutenção. Segundo uma notícia do Diário de Pernambuco publicada no dia 14 de novembro de 2006 [25], os estacionamentos chegam a ter renda maior que as lojas de shoppings. Portanto, o grupo concluiu em sua pesquisa de mercado, que os shoppings têm uma preocupação em aumentar o diferencial para fidelizar seus clientes e também têm uma receita bem alta, que mostra que seria possível o interesse da compra do sistema por parte deles. No plano de negócios desenvolvido pelo grupo para a matéria PCS2590, há um estudo completo sobre o mercado e, além disso, análises e estimativas financeiras da empresa que pode ser aberta deste projeto. [ANEXO 1].

2. Organização

Capítulo 1 - Introdução

Aborda as características gerais do projeto e as principais motivações para a viabilidade do projeto.

Capítulo 2 - Organização

Organização do documento, explicando o que cada capítulo aborda.

Capítulo 3 – Aspectos conceituais

Aborda todos os conceitos estudados, assim como as várias tecnologias estudadas e analisadas para a arquitetura do projeto.

Capítulo 4 – Especificação do Projeto

Apresenta as os requisitos do sistema, tanto funcionais como não-funcionais e a tecnologia necessária para a arquitetura que atenda às especificações dos requisitos.

Capítulo 5 – Metodologia

Apresenta a metodologia de projeto adotada pelo grupo para a elaboração e desenvolvimento do projeto, assim como a definição das principais atividades a serem realizadas e o planejamento das mesmas.

Capítulo 6 – Projeto e Implementação

Detalha a definição do projeto de hardware e software, as alternativas de desenvolvimento do projeto estudadas e analisadas, a elaboração das aplicações, os conceitos referentes à implementação estudados mais detalhadamente, as ferramentas utilizadas, os resultados obtidos em cada etapa e as alternativas adotadas para contornar os problemas encontrados.

Capítulo 7 – Considerações finais

Apresenta a consolidação dos resultados atingidos e não atingidos, assim como as considerações de cada integrante do grupo em relação ao Projeto de Formatura.

3. Aspectos Conceituais

Antes da definição da tecnologia que iria ser utilizada para o projeto, o grupo realizou uma extensa pesquisa das tecnologias existentes no mercado que pudessem ser utilizadas para o projeto. De acordo com os resultados encontrados, pudemos escolher a que melhor atende as necessidades do projeto. A seguir, detalharemos todas as tecnologias pesquisadas e por último, a justificativa da escolhida.

3.1. Sensor Ótico

A utilização de sensores óticos é de fundamental importância em qualquer aplicação de automação. Sua utilização no nosso projeto tem como finalidade a detecção da existência de um veículo na vaga. O seu funcionamento é baseado na transmissão de um feixe de luz para um receptor, que assim que deixa de receber o sinal muda de estado, ou seja, informa outro sistema de que há algo entre o transmissor e o receptor. A informação passada pelo sensor é encaminhada para o acionador do identificador do automóvel, para que possa ser efetuada a leitura do cartão fornecido na entrada do estacionamento. Tendo em vista a possibilidade de algum objeto, ou pessoa, interromper o feixe temporariamente, seja intencionalmente ou não, planejamos a utilização de um *timeout* implementado via software, que recebe o sinal do sensor e só o repassa para o leitor se continuar a recebê-lo por um determinado intervalo de tempo, que será definido empiricamente em uma fase posterior do projeto. [18]

Esta tecnologia já é muito utilizada em elevadores, por exemplo, para evitar que as portas fechem nos usuários, e por este motivo, já apresenta um custo baixo e é facilmente encontrada no mercado. Porém, o grupo decidiu em não utilizar esta tecnologia, pela necessidade de montar um sensor por vaga, o que exigiria a existência de um poste de cada lado da vaga, que iria ter nele afixado o sensor. Além disso, essa tecnologia não resolve por completo a necessidade do projeto, já que não identifica os carros, iria apenas indicar a presença ou não nas vagas. Portanto, será necessária uma outra tecnologia que trabalhe junto com os sensores para identificar e localizar os veículos.

3.2. Localização do veículo

Para a localização de um veículo, faz-se a associação entre o número da vaga e o número de identificação do veículo, que é determinado pelo ID armazenado no dispositivo alocado na janela.

Assim, com a utilização de um sensor ótico por vaga citado no item anterior, quando um veículo estaciona em uma vaga, o feixe de luz é interceptado, indicando que a vaga está ocupada. Isto aciona um leitor, que realiza a identificação do veículo, lendo o dispositivo de identificação. O número da vaga é então associado ao ID do veículo em um banco de dados.

O acionamento deste leitor é dado por um controlador que, ao receber a informação de que o feixe de luz foi interceptado, deve acionar o leitor para realizar a identificação do veículo. Este circuito controlador também é responsável por determinar se, uma vez que o feixe é interceptado, o leitor deve ou não ser ativado. Isto porque a interceptação do feixe pode não ser dada pela presença de um carro estacionado, e sim por uma interrupção ocasional, como, por exemplo, uma pessoa passando por cima da vaga. O leitor que deve identificar o veículo, pode ser implementado com a utilização de diversas tecnologias, entre as pesquisadas pelo grupo estão: ZigBee, RFID e *Transponders*.

3.3. Identificação do automóvel - *Transponder* e RFID

Uma forma de identificação dos veículos estacionados é utilizando-se as tecnologias baseadas em RF (*Radio Frequency*). As possíveis soluções encontradas são o uso de *transponders* ou a tecnologia RFID. Ambas as soluções baseiam-se na leitura de informações contidas em pequenos dispositivos magnéticos alocados nas janelas dos veículos. Tais dispositivos devem estar contidos no campo de alcance dos sensores para que estes possam obter as informações armazenadas e enviá-las a um servidor central.

Em ambas as soluções, os dispositivos (*transponders* ou *tags* de RFID) armazenam um número de identificação. Desta forma, cada veículo será identificado

por este número (ID) e sua localização no estacionamento será dada pela associação entre o ID e a vaga ocupada.

O princípio de funcionamento dessas duas tecnologias é o uso dos leitores como geradores do campo magnético para realizar a captura de informações contidas nos dispositivos. Desta forma, para cada tecnologia e o tipo de dispositivo lido existe uma distância máxima entre o leitor e o dispositivo para que a leitura seja realizada corretamente.

Segue abaixo o detalhamento de cada uma das soluções, apresentado as principais características de cada uma:

3.4. *Transponder*

Os *transponders* são os dispositivos magnéticos que armazenam o ID. Nesta tecnologia, o alcance de leitura dos sensores pode chegar até 5 metros. Além disso, o campo de leitura não é omnidirecional, estando restrito a uma faixa de alcance em forma de setor, como ilustra a figura abaixo. [12] [13]

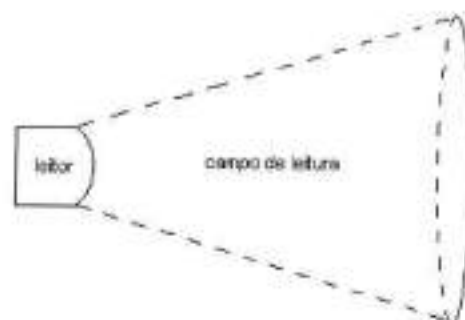


Figura 5 - Ilustração do campo de leitura do *transponder* (não omnidirecional)

Desta forma, devido ao baixo alcance, a solução seria instalar um leitor por vaga. Entretanto, um leitor por vaga encarece o projeto, pois, além da compra das ferramentas e equipamento, há também a instalação no estacionamento, que aumentaria demais o custo do projeto.

3.5. RFID – Radio Frequency Identification

Os dispositivos que armazenam o ID são chamados *tags* e podem ser de dois tipos: ativo ou passivo. As *tags* passivas não possuem alimentação independente, ou seja, o campo magnético gerado pelo leitor excita o circuito da *tag* gerando corrente elétrica, o que possibilita a comunicação desta com o leitor. Para tanto, a distância entre o leitor e a *tag* deve ser pequena para que o campo magnético possa gerar a corrente no circuito da *tag*. Assim, a principal limitação do uso de *tags* passivas é o baixo alcance dos leitores (de aproximadamente 10 cm), o que impossibilita o uso de um único leitor para várias vagas. Já as *tags* ativas possuem alimentação própria, utilizando-se pequenas baterias. Isso possibilita uma maior distância do leitor, permitindo o uso de um único leitor para várias vagas. [7] [8].

Entretanto, estes leitores que tem um alcance maior não passam de 10m e o custo de apenas uma unidade pode chegar a U\$ 5.000.

Além do alto preço, com a utilização de um leitor para a leitura de algumas vagas, passa a existir a necessidade de se colocar um sensor ótico por vaga, que como já citado, também encarece a solução e haveria um enorme trabalho para a adaptação de um estacionamento para o sistema. [14] [19].

3.6. Identificação do automóvel - ZigBee - A tecnologia escolhida

Especificado pelo padrão IEEE 802.15.4, este padrão foi publicado pelo grupo ZigBee Alliance, formado por empresas como a Philips, Motorola, Invensys e Mitsubishi Eletronic. [1]

Tem como requisitos o baixo custo e o atendimento a aplicações voltadas à automação doméstica, controle industrial, acesso a periféricos, utilização de sensores médicos, brinquedos e jogos. O padrão ZigBee utiliza baixa taxa de transmissão de dados e comunicação de curto alcance, de 1 a 75 metros, além de ter baixo consumo de energia. [2]

O padrão define três tipos de topologias que podem ser utilizadas, dependendo do tipo de aplicação. No nosso caso do estacionamento, podemos utilizar o mais

simples, que é o modelo estrela, em que existe um dispositivo trabalhando como coordenador da área pessoal (PAN, ou *personal area network*). No projeto, podemos utilizar três coordenadores que ficam no centro da topologia. Estes seriam os módulos que ficam fixos no estacionamento para realizar a comunicação com os dispositivos que serão dispostos no teto dos carros. Cada carro teria então um dispositivo de função reduzida. Os de função reduzida podem se comunicar somente com o seu coordenador. [3][4]

Segue abaixo uma figura que ilustra uma rede com topologia de estrela:

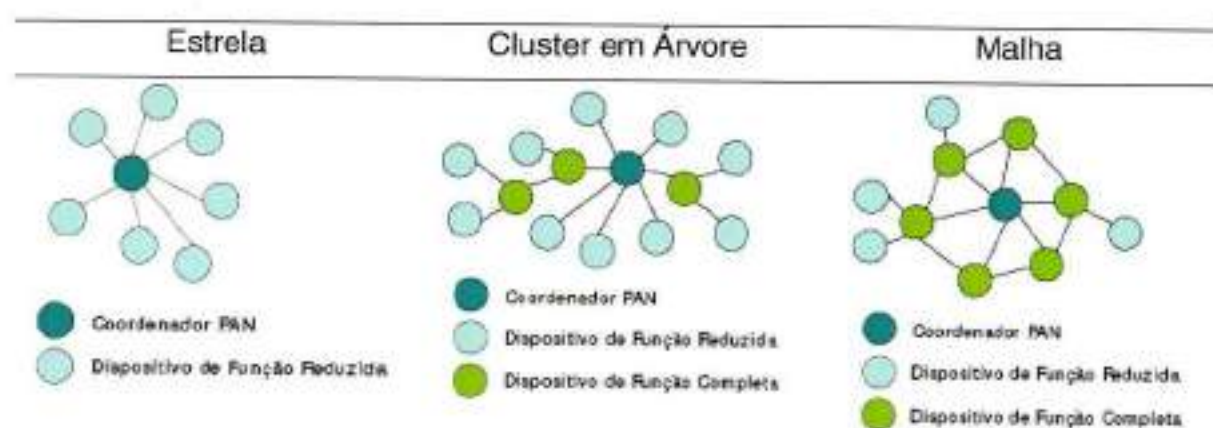


Figura 6 - Possíveis topologias de uma rede ZigBee

A utilização dos três coordenadores será realizada, pois a tecnologia ZigBee permite que a potência do sinal seja medida e portanto, os coordenadores podem calcular a distância de cada módulo até si e assim, com a existência de três, pode-se efetuar uma triangulação e encontrar a posição exata do veículo. [5][6]

A figura abaixo ilustra como é possível determinar a localização dos veículos:

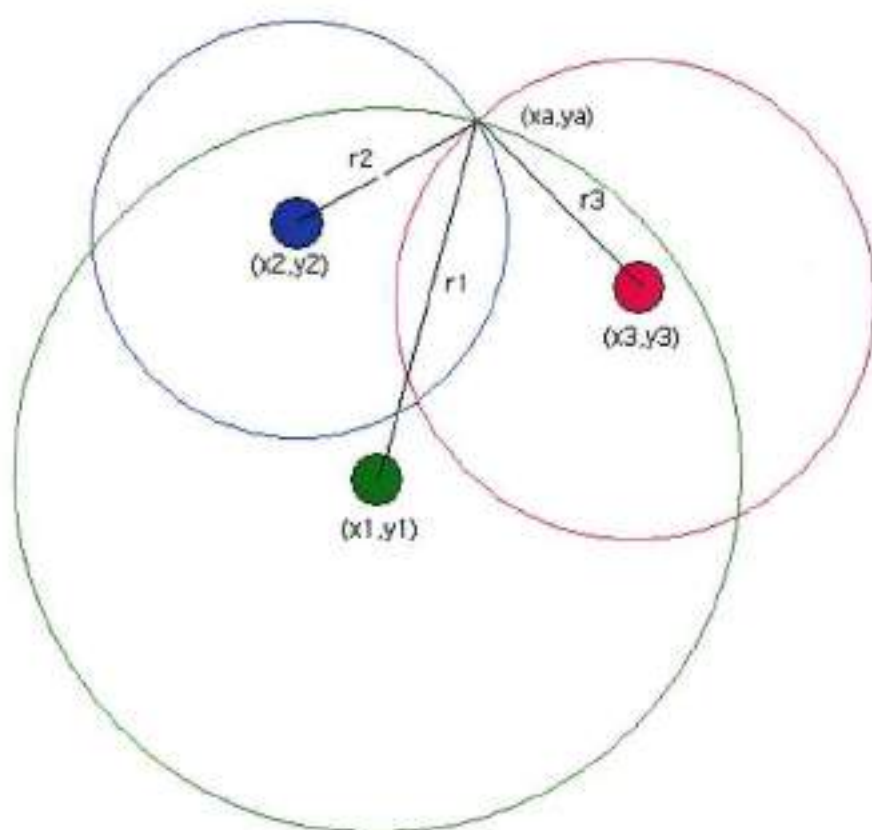


Figura 7 - Triangulação da potência do sinal

4. Especificação do Projeto de Formatura

4.1. Levantamento de Requisitos

4.1.1. Funcionais

O sistema de gerenciamento atende às seguintes especificações funcionais:

Disponibilizar ao motorista a visualização das vagas disponíveis no estacionamento

Ao entrar no estacionamento, o motorista pode visualizar em um mapa do estacionamento quais vagas estão ocupadas e quais estão disponíveis. Assim, ele pode escolher em qual vaga estacionar seu veículo e dirigir-se diretamente para o local da vaga.

O mapa do estacionamento deve exibir de forma diferenciada as vagas ocupadas e as disponíveis em um painel, sendo atualizado em tempo real, ou seja, assim que uma vaga é desocupada, o mapa a mostra como livre e quando uma vaga é ocupada, o painel imediatamente a exibe como estando ocupada.

Registrar o horário de entrada do estacionamento

No momento em que o motorista entra no estacionamento, é registrado o horário de entrada, associando ao número da placa. Antes de deixar o estacionamento, o motorista deve pagar a tarifa referente ao tempo de permanência calculado a partir do horário de entrada registrado no sistema. Assim, ele apenas informa o número da placa de seu veículo e o sistema calcula o tempo de permanência para a realização da cobrança.

Registrar a entrada do veículo no estacionamento através de sua placa

Para que a localização do veículo seja feita, é necessário que a placa seja registrada na entrada do estacionamento. O número da placa é a identificação do veículo utilizada para associá-lo à vaga que ele ocupa e para realização da cobrança.

Determinar a localização do veículo no estacionamento, identificando a vaga em que este se encontra estacionado

Além de identificar as vagas livres e ocupadas, o sistema deve também ser capaz de reconhecer qual carro está estacionado em cada vaga ocupada. Isto contribui para a segurança do estacionamento, pois a localização de cada veículo é conhecida pelo sistema.

Exibir ao motorista a localização do veículo e o tempo de permanência em um terminal de consulta

O motorista pode consultar a localização de seu carro através de terminais espalhados ao longo do estacionamento. Assim, basta que o motorista digite a placa no terminal de consulta e a identificação da vaga onde o veículo se encontra é exibida, assim como um pequeno mapa indicando a localização.

Além disso, é exibido também o tempo de permanência do veículo dentro do estacionamento.

Monitorar o veículo dentro do estacionamento para segurança

Cada veículo, através de sua placa, é monitorado durante todo o tempo de permanência dentro do estacionamento.

4.1.2. Não Funcionais

Abaixo estão listados os requisitos não funcionais do sistema, que devem ser levados em conta na escolha das soluções e tecnologias para a implementação do projeto. Estes requisitos podem ser divididos nas seguintes áreas:

Transparência

É a capacidade do sistema de informação ser operado sem que os operadores percebam o sistema computacional que o implementa.

Os operadores não precisam conhecer a implementação do projeto, como por exemplo, a linguagem e o banco de dados utilizados no desenvolvimento. O sistema deve ser simples para manuseio normal, para ligar e desligar, e para execução das tarefas básicas e rotineiras.

Tempos de Resposta

Os tempos de resposta do sistema, dependendo da funcionalidade, precisa ser pequeno o suficiente para que um cliente não perceber um atraso na resposta. No caso do terminal de consulta que o cliente utilizará para verificar a localização de seu veículo, o tempo de resposta não pode ser muito alto, para que o cliente não desista de aguardar. Além disso, para a atualização no painel da entrada, que mostra as vagas disponíveis, o sistema não pode demorar muito para atualizá-lo e acabar prejudicando o cliente que irá tentar estacionar em uma vaga achando que a mesma está livre mas que já tenha sido ocupada.

Confiabilidade

Tempo que o sistema passa sem apresentar defeitos que comprometam suas funções.

Para um sistema que envolve cobrança, a confiabilidade do sistema deve ser alta, com um MTBF – Mean Time Between Failure, ou tempo médio entre falhas – alto. Caso o sistema apresente problemas do tipo: não registrar o horário de entrada do cliente, ou então registrar errado, isso pode ser muito prejudicial para o negócio, que pode acabar perdendo clientes.

Disponibilidade

Porcentagem do tempo em que o sistema está disponível para uso com todas as suas funcionalidades.

Por se tratar de um sistema que controla o tempo todo a entrada, permanência e a saída dos veículos de um estacionamento, ele precisa ter uma alta disponibilidade. Caso o sistema caia durante um horário de pico de movimento na entrada ou na saída do estacionamento, isso pode causar muitos transtornos e não pode acontecer. Então a disponibilidade do sistema deve ser de 24x7.

Redundância

Significa ter-se disponível equipamento adicional para fazer as funções do original, quando este apresentar defeito.

Em um sistema real, a redundância do banco de dados é muito importante. Entretanto, no protótipo a ser implementado neste projeto, não há a necessidade de ter um banco de dados de *failover*, ficando decidido, portanto que a redundância não faz parte do escopo deste projeto.

Modularidade

Implementação do sistema em sub-sistemas ou módulos funcionais de Hardware e Software.

Podemos dividir o sistema em sub-sistemas para que o sistema possa ser mais facilmente alterado e expandido. Os sub-sistemas podem ser: sistema de interface com o usuário, que faz as consultas no banco de dados; parte do hardware, que inclui a comunicação entre os módulos de ZigBee; sistema que faz o cálculo da localização dos veículos; sistema de interface do sistema do hardware com o banco de dados, realizando as atualizações no banco de dados.

Manutenibilidade

Indicador de facilidade de manutenção dos sistemas, está relacionada com o MTTR (Mean Time to Repair, ou tempo médio para reparos).

O MTTR do sistema deve ser o menor possível. Para isso, deve ser feita uma documentação completa para auxiliar o técnico, no caso da necessidade de manutenção do software. Além disso, o projeto e desenvolvimento do sistema deve ser muito bem organizado e comentado, para isso também agilize a manutenção. A realização de manutenções preventivas também é importante para que o sistema não pare e uma possível fonte de erro possa ser eliminada antes de ocorrer.

Expansibilidade

Característica do sistema permitir sua expansão, para permitir criação de novas funcionalidades.

Como o projeto se divide em partes bem definidas, para que o sistema seja expandido com mais facilidade, é muito importante que o início e fim de cada parte sejam bem definidos, inclusive as interfaces entre os sistemas, de tal forma que para a adição de novas funcionalidades do sistema, fique mais fácil o entendimento de o que precisa ser adicionado e adaptado.

4.2. Tecnologia

Os requisitos da tecnologia foram levantados de acordo, tanto com os requisitos funcionais, como com os requisitos não funcionais do sistema. Entre eles, estão:

Meio de comunicação wireless

Como principal requisito de tecnologia, tem-se que o meio de comunicação deve ser sem fio, pois como há a movimentação dos veículos no estacionamento, então a comunicação não pode conter fios.

Custo

O baixo custo também é um requisito da tecnologia. Tem que ser levado em consideração que a quantidade de veículos transitando no estacionamento pode ser muito grande, então o custo de cada módulo deve ser baixo.

Longo alcance

O longo alcance da tecnologia também é muito importante, pois em um estacionamento, as distâncias são grandes, na ordem de centenas de metros.

Baixo consumo de energia

Há a necessidade de que a tecnologia não tenha um alto consumo de energia, pois como a tecnologia é móvel, então devem ser utilizadas baterias, que devem portanto, durar bastante.

Confiabilidade

A tecnologia a ser escolhida precisa apresentar uma confiabilidade na transmissão e comunicação, pois precisa garantir que os carros serão identificados no estacionamento, sem que alguns sejam perdidos.

Simplicidade da arquitetura

A implementação da tecnologia deve ser a mais simples possível, de tal forma que não exige muitas adaptações no ambiente que vai ser implantada, ou que exija outras infra-estruturas complexas.

Mestre-escravo

Um outro requisito para a tecnologia é que ela seja do tipo mestre-escravo, ou seja, o mestre seria o dispositivo fixo do estacionamento, que iria se comunicar com os demais que ficariam nos carros. O mestre é quem dita a comunicação e não há a necessidade que os escravos se comuniquem entre si.

Triangulação

Por último, um requisito importante é que se a tecnologia ofereça a possibilidade da implementação de triangulação, para que seja possível calcular a exata localização do dispositivo. Posteriormente a triangulação é explicada com mais detalhes.

Uma vez levantados os requisitos do sistema de gerenciamento, pode-se identificar as principais funcionalidades e componentes do sistema. Assim, é possível definir a divisão em subsistemas e como estes serão projetados para atender os requisitos requeridos.

As principais funcionalidades do sistema são a identificação de vagas disponíveis no estacionamento e a localização de cada veículo estacionado, associando-o através da placa à identificação da vaga que ele ocupa.

Na cancela de entrada do estacionamento, o motorista irá visualizar o mapa em um painel indicando quais são as vagas disponíveis e irá receber um módulo de identificação (no caso um módulo de ZigBee) para localizá-lo dentro do estacionamento. A placa do veículo é então capturada por uma câmera e o número é identificado e registrado no sistema, associado ao número de identificação do módulo de ZigBee. O horário em que o veículo entrou no estacionamento é também registrado.

O módulo de ZigBee possui uma antena e deve ser colocado no exterior do carro. Existem antenas fixas no estacionamento que se comunicam com os módulos dos carros, identificando a localização dos mesmos. Uma vez que os módulos estão associados aos veículos através da placa, pode-se conseqüentemente saber a localização do veículo.

A localização dos veículos é feita através de três antenas ZigBee que se comunicam com os módulos dos carros, medindo a distância a cada um deles. Obtendo-se a distância a cada uma das antenas, é possível determinar o ponto exato onde o módulo se encontra. Este é o princípio da triangulação, utilizada em localizadores GPS e localização de *hotspots* para redes WiFi.

O sistema tem armazenado o mapeamento de todas as vagas do estacionamento dada em coordenadas, ou seja, a posição de cada vaga é caracterizada pelas distâncias os três coordenadores ZigBee. Desta forma, obtendo-se a posição do veículo na área do estacionamento, é possível saber qual é a vaga em que ele está estacionado consultando-se o mapa com as posições das vagas.

Desta forma, sabem-se quais vagas estão ocupadas e quais estão livres para que sejam exibidas no painel da entrada do estacionamento.

O motorista pode consultar em terminais espalhados pelo estacionamento a localização do veículo digitando a placa para a consulta, retornando do sistema a identificação da vaga onde o veículo está estacionado e um pequeno mapa indicativo da localização desta vaga.

Antes de deixar o estacionamento, o motorista deve pagar a tarifa correspondente ao tempo de permanência. Isto é feito integrando-se um sistema de cobrança semelhante aos que já estão implantados em muitos estacionamentos atualmente. No caixa, o atendente acessa o sistema de gerenciamento buscando o veículo através do número da placa. O sistema automaticamente calcula o tempo de permanência através do horário de entrada registrado e o valor da tarifa correspondente. Uma vez que a tarifa é paga, é registrado no sistema que o pagamento referente ao veículo foi efetuado.

Ao deixar a vaga, o sistema detecta que o veículo liberou a vaga e a classifica como disponível, atualizando o mapa do painel de vagas na entrada. Isto é possível uma vez que durante todo o tempo de permanência do veículo no estacionamento este é monitorado pelo sistema, que verifica sua posição periodicamente. Enquanto a posição do veículo continua a mesma, isto significa ao sistema que ele se encontra parado e se a posição coincidir com a posição de alguma vaga, então ele está estacionado nela. Caso a sua posição mude, então o veículo saiu da vaga e esta está livre novamente.

Na cancela de saída, o módulo de ZigBee deve ser devolvido e o sistema verifica se o pagamento daquele veículo já foi efetuado.

A seguir encontra-se o fluxograma com a sequência de ações para uso do sistema e o detalhamento de cada uma das etapas:

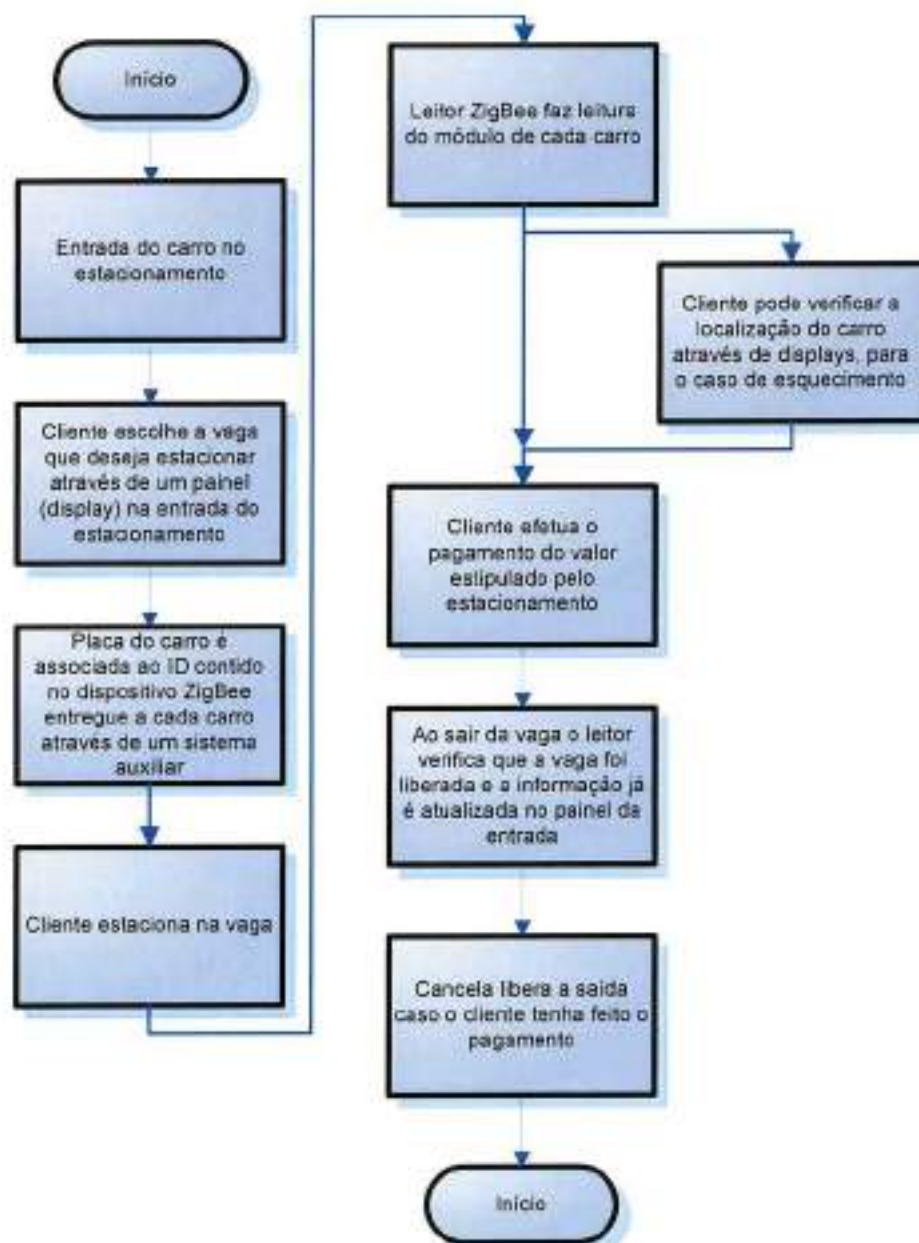


Figura 8 - Fluxograma de uso do sistema de gerenciamento

Placa do carro é associada ao ID contido no dispositivo ZigBee entregue a cada carro através de um sistema auxiliar.

O sistema auxiliar citado acima é responsável por associar a placa ao ID do dispositivo ZigBee através de um identificador de placas acoplado à entrada do estacionamento, onde o cliente faz a escolha da vaga. Tal associação é feita para que posteriormente, ao estacionar na vaga, o cliente possa fazer a checagem através de totens instalados dentro do estabelecimento.

Cliente estaciona na vaga

Como citado anteriormente, o cliente faz a escolha da vaga na entrada do estacionamento. Tal escolha da vaga deve ser respeitada, para que não haja conflito de vagas, ou seja, para que um cliente não estacione em uma vaga destinada a outro veículo.

Leitor ZigBee faz leitura do módulo de cada carro

O leitor do dispositivo ZigBee faz a leitura constantemente, e assim que o carro entra na vaga selecionada o sistema faz a associação da vaga com o ID do carro. Tal associação é possível, pois o estacionamento é previamente mapeado, de forma que assim que cada carro é estacionado é feita a verificação dos limites de cada vaga, e então é feita a associação e tal par é armazenado no banco de dados.

Cliente pode verificar a localização do carro através de displays, para o caso de esquecimento

Para o caso de clientes que não se lembram do local onde o carro foi estacionado são disponibilizados totens no interior do estabelecimento para que possa ser feita uma verificação. Essa verificação é uma simples pesquisa ao banco de dados, tendo como entrada a placa do carro ou até o ID do dispositivo ZigBee.

Ao sair da vaga o leitor verifica que a vaga foi liberada e a informação já é atualizada no painel da entrada

Como o leitor ZigBee faz a leitura constantemente assim que um carro libera uma vaga o leitor obtém essa informação. Esta informação faz com que o display de vagas, na entrada do estacionamento, seja atualizado exibindo assim a vaga como disponível.

Cancela libera a saída caso o cliente tenha feito o pagamento

A cancela situada na saída do estacionamento tem ligação com o sistema e só faz a liberação caso o dono do veículo tenha efetuado o pagamento da taxa pré-estipulada. Para tanto é feita uma pesquisa em banco de dados.

5. Metodologia

A primeira atividade que o grupo realizou foi um *brainstorm* a respeito do tema a ser desenvolvido no projeto. Pesquisamos a respeito de tecnologias promissoras, setores carentes de produtos ou serviços relacionados a tecnologia. Ao definirmos o tema iniciamos uma pesquisa sobre as tecnologias disponíveis e que poderiam ser utilizadas para localização dentro de um ambiente. Pesquisamos sobre *transponders*, RFID, sensores óticos e ZigBee, como citado anteriormente. Dividimos o grupo para que a pesquisa fosse efetuada de forma mais rápida e eficiente. Cada componente do grupo ficou responsável pela pesquisa completa de cada tema e por explicar para cada outro componente como tal tecnologia poderia ser útil ou não para o projeto. Um resumo de cada tecnologia foi incluído no relatório, assim como uma explicação da escolha feita.

A tabela 2 explicita o nível de participação de cada componente em cada etapa do projeto. Em anexo consta o cronograma de todas as atividades, assim como o tempo utilizado em cada uma. Não foram utilizadas técnicas de gestão de projetos, como WBS, por não estamos lidando com uma equipe muito numerosa e pelo curto período de atividades.

Tabela 2 - Divisão de Atividades

	Cintia	Guilherme	Paula	Renato	
Definição do tema - <i>Brainstorm</i>	P	P	P	P	P - Participante
Escolha do orientador	P	P	P	P	R - Responsável
Definição do tema	P	P	P	C	C - Comenta
Pesquisa - RFID Passivo	R				
Pesquisa - RFID Ativo	R				Concluídas
Pesquisa - <i>Transponder</i>		R			Desenvolvimento
Pesquisa - Sensores				R	
Pesquisa - ZigBee			R		
Definição da Arquitetura	P	P	P	P	
Testes de ambiente de desenvolvimento			R	P	

Aquisição	P	P	P	P	
Desenvolvimento da Interface Gráfica	R			P	
Definição da Estrutura do Banco de Dados	R	R			
Integração da interface com o banco de dados	R	R	P	P	
Familiarização com o kit	P	P	P	P	
Programação dos módulos de ZigBee	P	P	R	C	
Desenvolvimento de software de gerência	R	P	P	C	
Integração do módulo de ZigBee com o software de gerência	P	P	P	P	
Integração final	P	P	P	P	
Testes	P	P	P	P	
Testes em ambiente real	P	P	P	P	

O desenvolvimento do software de gerenciamento e de conversão da potência em distância foi baseado em diagramas de casos de uso, diagramas de seqüência de cada funcionalidade, diagrama de classes, e um diagrama entidade relacionamento para modelar o banco de dados. Todo o desenvolvimento foi baseado em linguagem Java, com uso de Prova de Conceito (POC) e de acordo com as boas práticas de programação. Para o banco de dados, criamos as tabelas de acordo com a necessidade de armazenar as informações geradas ou encontradas.

Os testes foram realizados em ambientes diversos, de acordo com o andamento do projeto. Iniciamos com os testes do kit ZigBee em ambiente fechado, porém ainda não tínhamos informações suficientes para apurar os dados encontrados. Após pesquisas a respeito da conversão da potência em distância conseguimos comparar os dados encontrados com os reais, podendo assim, julgar a utilidade dos mesmos. Com a possibilidade de julgar os dados encontrados partimos para testes em outros ambientes com o kit. O teste em ambiente fechado, uma sala de aula, nos apresentou uma precisão e uma constância boa, porém para curtas distâncias. Já em campo aberto, foram realizados testes em um campo de futebol, no vão do prédio e no estacionamento dos professores da Engenharia Elétrica da Escola Politécnica. Estes testes nos apontaram a sensibilidade dos dispositivos ao ambiente, fato a ser citado explicado.

O software de gerência foi testado em módulos, funcionalidade a funcionalidade. Após o teste de cada módulo foram feitos os testes do sistema integrado, também funcionalidade a funcionalidade.

6. Projeto e Implementação

O sistema desenvolvido foi subdividido em duas partes: software e hardware. Tal divisão visa aproveitar melhor os componentes do grupo e permitir o aprofundamento dos mesmos nas suas respectivas subdivisões. A subdivisão de hardware é responsável por adaptar os módulos de ZigBee à topologia mais adequada e fazer com que cada dispositivo informe a potência entre eles. A subdivisão de software trata os dados de potência gerados pela subdivisão de hardware para que sejam convertidos em distâncias. Tais distâncias são utilizadas para localizar cada módulo dentro de um determinado espaço. Abaixo segue uma descrição mais detalhada de cada subdivisão.

6.1. Hardware

6.1.1 Estrutura dos protocolos IEEE 802.15.4 e ZigBee

O IEEE 802.15.4 é um protocolo aberto para as camadas física (PHY) e de enlace (MAC). Este protocolo trata duas camadas físicas: uma para a frequência de transmissão de 868 MHz e outra para a frequência 2,4 GHz, que é a frequência mais comumente usada no mundo e também adotada neste projeto. [11]

O ZigBee é um protocolo de rede proprietário da ZigBee Alliance. Além de especificar a camada de rede, o protocolo também provê um framework para a camada de aplicação. Tal framework engloba os chamados objetos ZDO, a camada de suporte à aplicação e os objetos desenvolvidos pelo usuário.

A figura abaixo ilustra a arquitetura do stack do protocolo ZigBee [28].

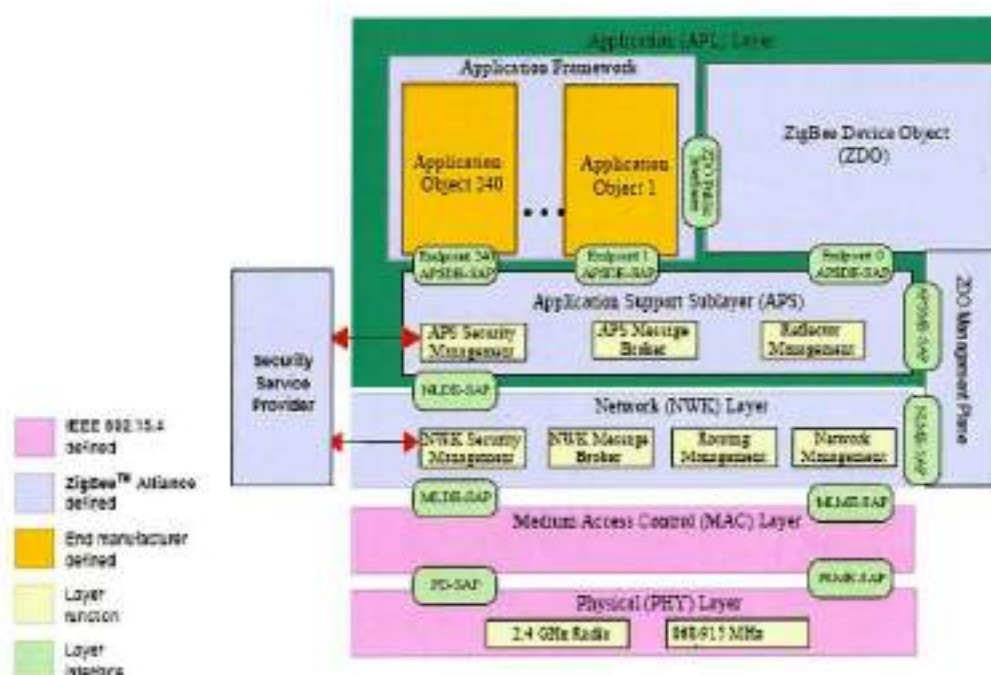


Figura 9 - Arquitetura do Stack do Protocolo ZigBee

As funções de cada camada não podem ser acessadas diretamente pelas camadas superiores a elas. Para tanto, foram definidas entidades de interface entre as camadas através das quais estas trocam dados. Em tais entidades encontram-se funções que podem ser chamadas pela camada superior para poderem acessar as funções internas da camada inferior e vice-versa.

Existem dois tipos de entidades de interface entre as camadas: Gerenciamento (*Management*) e Dados (*Data*). As entidades de Gerenciamento são responsáveis por fornecer funções relacionadas à administração e gerenciamento da rede, tais como funções de associação e desassociação de nós da rede, atribuição de endereços aos nós filhos e configuração. Já as entidades de dados são responsáveis pelas funções de transmissão e recepção de dados.

Na figura 9, pode-se verificar que para cada interface entre duas camadas existem duas entidades, a de gerenciamento (identificador –M na sigla da entidade) e a de dados (identificador – D na sigla da entidade).

Camada de rede NWK

A camada de rede é responsável por coordenar os mecanismos de formação da rede ZigBee através de funções de *Join* e *Leave* (integração e remoção de um nó da rede); roteamento dos pacotes de dados para seus respectivos destinos, incluindo funções de *Discovery* na rede para manutenção das rotas entre os nós da rede.

As funções de rede são distintas para cada tipo de *device*. As funções comuns são aquelas relacionadas à transmissão e recepção de mensagens. O módulo Master é responsável por iniciar uma rede e atribuir um endereço aos novos módulos associados. Já os *devices* Escravos possuem funções apenas para se associar e desassociar de uma rede. Os *devices* Roteadores, além das funções de associação e desassociação, processam funções de roteamento.

6.1.2 Desenvolvimento da aplicação ZigBee

Os protocolos IEEE 802.15.4 e ZigBee já estão implementados e disponíveis em uma biblioteca do tipo .LIB para ligação (*linking*) direta com a aplicação a ser desenvolvida. Para utilizá-las, a aplicação realiza chamadas às funções implementadas e disponíveis nas bibliotecas. Cada chamada de função possui um formato especificado pelo desenvolvedor da biblioteca. Desta forma, apenas a aplicação foi projetada e desenvolvida.

A principal função da aplicação é a obtenção da medida da potência emitida entre as antenas dos módulos. Tal medida de potência é então passada ao software de gerência, que é responsável pela conversão da potência em distância entre os módulos.

As ações desempenhadas pela aplicação podem ser divididas em blocos de funções, tanto de gerenciamento quanto de dados. O diagrama de blocos abaixo ilustra a estrutura da aplicação:



Figura 10 - Diagrama em blocos da aplicação ZigBee

Para cada tipo de *device*, a aplicação deve realizar funções diferentes. Assim, por possuir três diferentes tipos de *devices* na topologia do projeto, então devem ser desenvolvidas três diferentes aplicações para o Master, os *devices* roteadores e os *end devices*. Algumas funções são comuns às três aplicações, tais como:

- Inicialização e configuração do hardware
- Funções de transmissão e recepção de dados
- Acesso aos objetos ZDO

As principais diferenças entre as aplicações são aquelas relacionadas à configuração da topologia, roteamento de dados e a comunicação entre os *devices*. Assim, as principais funções da aplicação específicas para cada tipo de *device* são:

1. Master

- Inicialização da topologia

- Gerenciamento dos *end devices* que se associam e desassociam da rede, recebendo pedidos de associação e ordenando a desassociação.
- Comunicação com o software de gerência, sendo necessário uma interface da placa ZigBee com o computador através de uma porta USB
- Gerenciamento das potências medidas pelos outros dois coordenadores fixos

2. Coordenadores roteadores

- Roteamento da medida de potência realizada por ele para o Master

3. *End Devices*

- Funções de solicitação de associação à rede
- Funções de desligamento da rede

Os três tipos de aplicação operando em conjunto formam a aplicação da rede ZigBee.

Descrição das funções da aplicação

Esta seção descreve cada bloco da figura 10, assim como os fluxogramas relativos a cada sequência de ações do aplicativo. As funções apresentadas são aquelas já implementadas nas bibliotecas ligadas à aplicação, bastando chamá-las com a sintaxe e parâmetros corretos.

1. Inicialização dos módulos

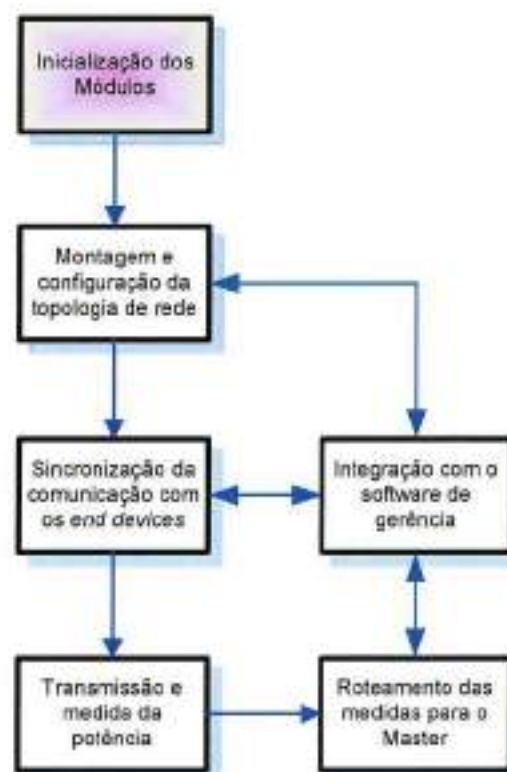


Figura 11 - Inicialização dos Módulos

A inicialização dos módulos ZigBee se dá logo após estes serem ligados e consiste na configuração dos componentes de hardware (microcontrolador C8051F120 e transceiver CC2420) e de inicializações das camadas MAC e de rede, setando variáveis internas e outros modos de configuração.

A tabela abaixo contém as funções chamadas e as respectivas descrições de cada uma delas [29]:

Tabela 3 - Funções Inicialização dos Módulos

1. DISABLE_GLOBAL_INT()
Desabilita todas as interrupções do C8051F120 através do bit EA=0

2. SystemInit ()

Inicializa os componentes de hardware, configurando o C8051F120 e C2101. No microcontrolador, os modos de interrupção são configurados. São também feitas as configurações para a geração do sinal de clock que alimenta o transceiver CC2420.

3. CC2420Init ()

Inicializa o transceiver CC2420, configurando seus registradores para modo de operação, transmissão e recepção; habilita bits de *chip enable* e de *start* do sinal de clock. Uma melhor descrição do CC2420 encontra-se no item "Detalhamento do Hardware".

4. EINT_Init ()

Configura e habilita as interrupções geradas pelo CC2420 para controle de transmissão e recepção de dados.

5. MAC_Init ()

Reinicia a camada MAC.

6. macInitEnv ()

Reinicia as variáveis internas da camada MAC.

7. mlmeResetRequest()

Esta função solicita, através da primitiva MLME-RESET.request, que os atributos PIB da camada MAC sejam reinicializados com seus valores padrão.

8. netInit ()

A aplicação solicita à camada de rede, através da primitiva NLME-RESET.request, que a camada de rede seja reinicializada, ou seja, todas as variáveis internas e tabelas de roteamento sejam limpas.

9. ENABLE_GLOBAL_INT()

Habilita todas as interrupções do C8051F120 através do bit EA = 1

2. Montagem e configuração da topologia de rede



Figura 12 - Montagem e configuração da topologia de rede

O módulo Master é responsável por iniciar uma rede e então permitir que outros devices se insiram nela.

As funções chamadas são [29]:

Tabela 4 - Funções de Montagem e configuração da topologia de rede

1. nlmeNetworkFormationRequest()
Função da entidade de gerenciamento faz com que o Master inicie a rede, atribuindo a ela um PAN ID. Realiza também um <i>scan</i> para detectar outras redes ao seu redor. Caso seja detectada uma outra rede com uma mesma identificação (PAN ID), uma exceção é gerada, ficando a cargo do programador tratar esta exceção antes que a rede seja inicializada. É determinado também o tipo de sincronização da comunicação entre os nós da rede (com ou sem a utilização de <i>beacons</i>).
2. nlmePermitJoiningRequest()
Esta função é chamada toda vez que um device envia uma solicitação para ser inserido na rede e essa solicitação é aceita pelo Master, que atribui um endereço ao novo nó.
3. nlmeNetworkDiscoveryRequest()
Esta função permite que o device filho procure uma rede para poder se associar. O retorno desta função é a resposta de um Master enviando seu PAN ID.
4. nlmeJoinRequest()
O device filho, após realizar um <i>Discovery</i> e descobrir uma rede, solicita sua inserção na rede com o PAN ID descoberto.

5. nlmeStartRouterRequest

Esta função deve ser chamada pelos *devices* roteadores inseridos na rede e que solicitam sua configuração como roteadores.

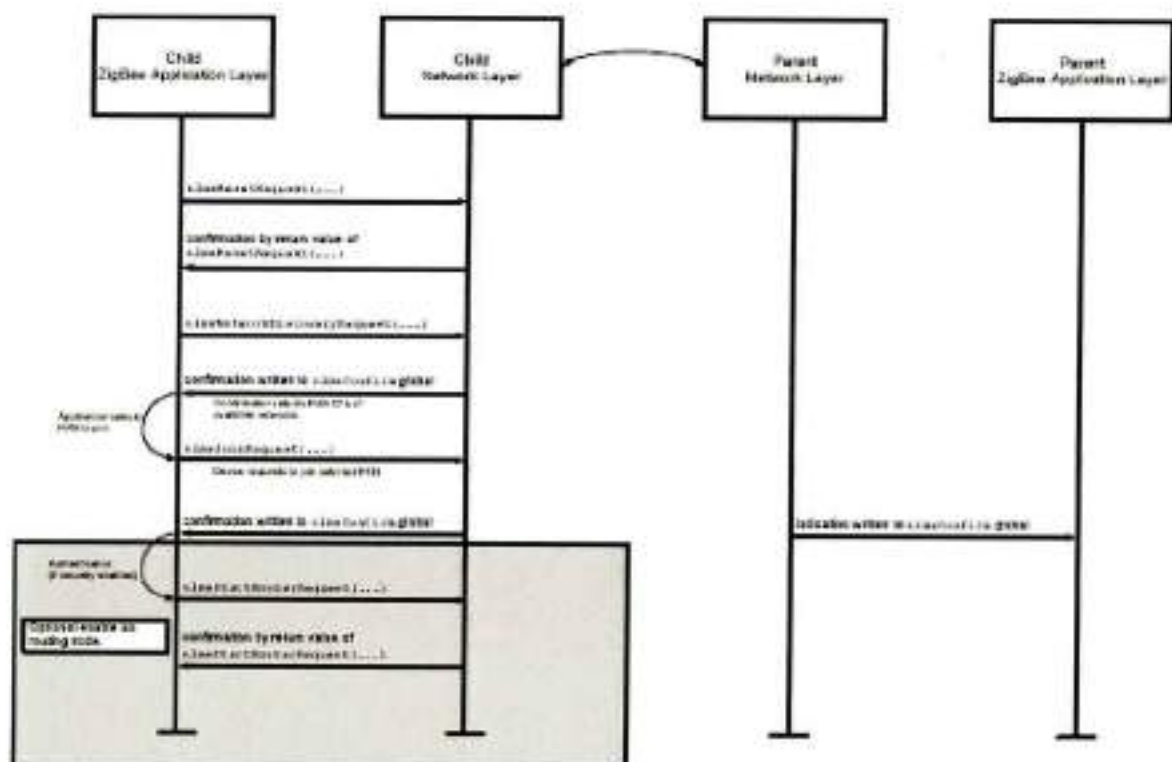


Figura 13 – Inicialização da rede e associação de end devices

Após um novo *device* ser inserido na rede e um endereço ser atribuído a ele, a aplicação do Master deve informar ao software de gerência a inserção de um novo nó e seu respectivo endereço para que este seja armazenado na base de dados do sistema.

3. Sincronização da comunicação com os *End Devices*



Figura 14 - Sincronização da comunicação com os End Devices

Os coordenadores devem se comunicar com todos os *devices* inseridos na rede para estimar a distância destes até eles. Para tanto, é necessário que eles possuam o endereço de todos os *devices* pertencentes à rede. Assim, o software de gerência envia periodicamente ao coordenador Master uma lista com endereços de *devices* ativos na rede. Esta lista é armazenada em uma pilha no aplicativo do Master e, através da sincronização com um Timer do microcontrolador, o endereço do topo é enviado aos outros coordenadores para que então os três possam se comunicar com o *device* correspondente ao endereço e medir a potência do sinal de resposta. Uma vez que as potências foram medidas pelos três coordenadores, então o endereço é descartado e o próximo endereço do topo da pilha é processado. Uma vez que todos os endereços da pilha foram consumidos, então o microcontrolador solicita ao software de gerência que uma nova lista com os endereços de *devices* ativos seja enviada.

Nota-se que a transmissão do endereço a ser testado do Master para os outros dois Coordenadores já corresponde a uma transmissão de dados, onde o dado sendo utilizadas as funções de transmissão e recepção detalhadas no próximo item.

O tipo de rede adotado não utiliza sinalização (*Non-beacon Network*), o que garante que, caso o endereço corresponda a um nó ativo na rede, este estará pronto para se comunicar com o coordenador a qualquer momento.

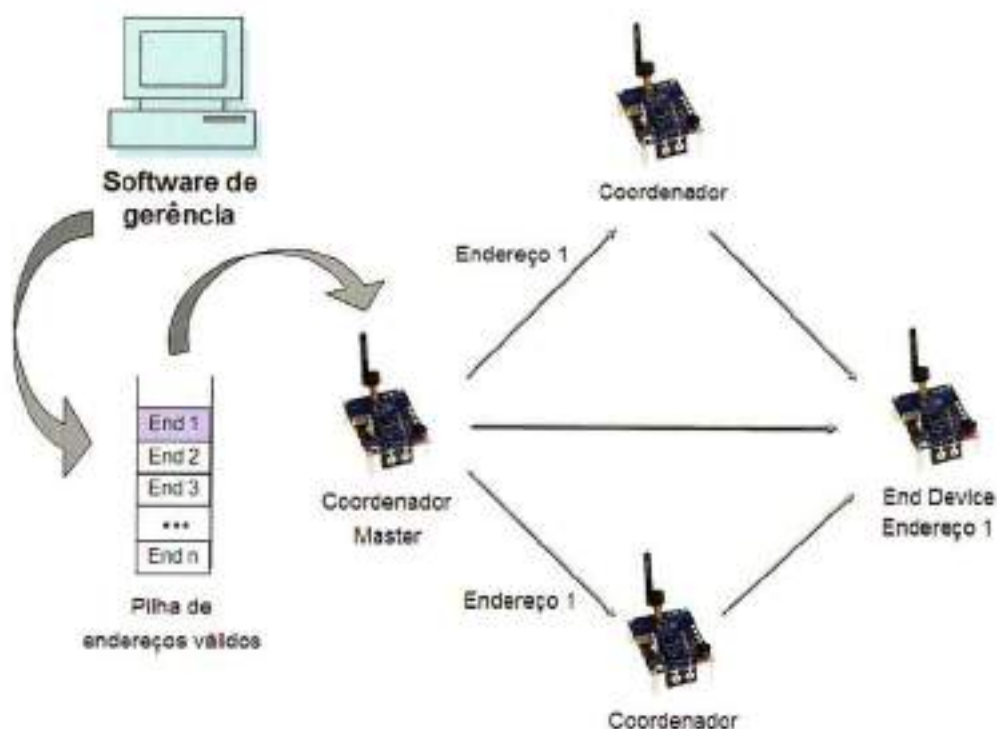


Figura 15 – Envio de endereços de end devices do software de gerência para o coordenador Master

Caso os coordenadores não consigam estabelecer a conexão com o *End Device*, o endereço deste é descartado após um tempo de *timeout* de 15 segundos. Este endereço é testado novamente após todos os outros endereços ativos da iteração corrente terem sido testados. O software de gerência mantém em sua base de dados o número de tentativas de conexão de cada endereço. Caso esse número seja maior que três, então o endereço é classificado como inativo, indicando que o *device* não está mais na rede ou que ele está com problemas. Como cada *device* envia uma mensagem ao Master informando seu desligamento ao deixar a rede

(indicando que o veículo associado ao módulo saiu do estacionamento), então o software de gerência classifica tal endereço como inativo por desligamento da rede, ou seja, o sistema é capaz de identificar quais módulos não pertencem mais à rede. Assim, caso não seja possível a conexão com um endereço que supostamente ainda está na rede, então o software de gerência o classifica como inativo por problemas desconhecidos. Não foi projetado nenhum mecanismo de tratamento para este erro, e nunca mais é testada a conexão com esse módulo, até que o administrador do sistema altere manualmente o status para ATIVO na base de dados.

Os *devices* inativos por desligamento da rede são classificados como ativos novamente assim que ele retornar à rede solicitando a sua associação, indicando que um novo veículo está entrando no estacionamento.

Após cada endereço da pilha ter sido testado, o aplicativo do Master envia ao software de gerência um vetor onde cada campo corresponde a um endereço testado na iteração corrente. Esse vetor contém valores de status indicando se a conexão com o *device* foi estabelecida com sucesso e a medida da potência foi realizada corretamente.

Assim, o software de gerência deve enviar ao Master uma lista com um número determinado de endereços a serem testados na iteração corrente e conhecer a posição que cada endereço ocupa na lista, para que depois, ao receber o vetor de status, ele possa reconhecer a correspondência das posições dos endereços enviados e os campos do vetor de status recebido.

4. Transmissão e recepção da potência



Figura 16 - Transmissão e Medida da Potência

Em uma rede sem sinalização (*Non-beacon Network*), como a utilizada neste projeto, os coordenadores e *end devices* podem receber e transmitir dados a qualquer momento, sem a necessidade de sincronização.

Assim, a principal função chamada para transmitir um frame é descrita a seguir [29]:

1. nldeDataRequest(NLDE_DATA_REQUEST *pNldeDataRequest)

O parâmetro NLDE_DATA_REQUEST *pNldeDataRequest é um ponteiro para o struct de dados do tipo NLDE_DATA_REQUEST que contém todos os argumentos para a função, como o endereço de destino, o número de bytes de dados, opção de segurança e um ponteiro para o struct correspondente ao dado transmitido.

Abaixo encontra-se a definição do struct de solicitação de transmissão de mensagem [29]:

```
void nldeDataRequest(NLDE_DATA_REQUEST
*pNldeDataRequest);
typedef struct{
    WORD    dstAddr;
    BYTE    nsduHandle;
    BYTE    broadcastRadius;
    BOOL    discoverRoute;
    BOOL    securityEnable;
    BYTE    nsduLength;
    BYTE    *pNsdu;
}NLDE_DATA_REQUEST;
NLDE_DATA_REQUEST *pNldeDataRequest
```

5. Roteamento das medidas de potência para o coordenador Master

As medidas feitas pelos dois coordenadores devem ser enviadas ao coordenador Master para que então este as envie para o software de gerência, pois é ele o módulo conectado ao computador.

Esta função caracteriza-se como uma função de roteamento, porém, para simplificar, não foram consideradas as propriedades de um *device* roteador para estes coordenadores, pois as medidas das potências dos *end devices* são dados que podem ser enviados ao Master em um novo frame, ou seja, o envio destes dados é considerado uma troca de mensagens usual entre dois coordenadores, utilizando os procedimentos e chamando funções descritas no item anterior.

6.1.3 Implementação do hardware

Infra-estrutura de hardware

O grupo entrou em contato com a representante do Laboratório Silabs no Brasil, a BP&M. A Silabs é fabricante de componentes eletrônicos como microcontroladores e transmissores de radiofrequência.

Após enviar um relatório com a proposta e detalhes do projeto para a Silabs, foi conseguido o empréstimo de um kit de desenvolvimento contendo:

- 6 módulos ZigBee: contém um microcontrolador, um chip RF para protocolo IEEE 802.15.4 e ZigBee, um chip para integração do módulo com o computador através da porta USB e uma antena acoplada;
- Cabos USB para comunicação dos módulos com o computador
- Adaptador serial para carregar o código da aplicação no microcontrolador e para realizar debug
- Baterias de 9V para os módulos ZigBee
- Uma fonte de alimentação
- CD de instalação contendo:
 - Documentação
 - Ferramenta IDE da Silabs com compilador, assembler e *linker* Keil
 - Códigos-exemplo
 - Bibliotecas com implementação dos protocolos IEEE 802.15.4 e ZigBee
 - Aplicativos DEMO de medição de temperatura obtida por um módulo e de medição da potência do sinal transmitido de um módulo para outro
 - Aplicativo DEMO para testar a comunicação entre módulos através do protocolo IEEE 802.15.4

O kit foi emprestado por um período de seis meses, a partir de julho até o final de dezembro de 2006. Foi assinado um termo de compromisso entre a BP&M e o Departamento de Computação ratificando formalmente o empréstimo.

O anexo [3] apresenta o manual do usuário do kit de desenvolvimento, ilustrando também as aplicações DEMO de medição de potência do sinal.



Figura 17 - Kit de desenvolvimento ZigBee

Plano de projeto

Por se tratar de um protocolo desconhecido tanto para o orientador quanto para o grupo, optou-se primeiro por estudar as principais características do protocolo ZigBee e sua integração com o protocolo IEEE 802.15.4. Assim o grupo primeiramente estudou e analisou os códigos-exemplo disponíveis no kit de desenvolvimento. Porém, gastou-se muito tempo na interpretação desses códigos, que se mostraram bastante confusos e mal-estruturados.

Porém, o grupo persistiu no estudo desses códigos acreditando que poderia haver o reaproveitamento de grande parte dele na aplicação do projeto.

Simultaneamente, o grupo continuou os estudos mais detalhados sobre o protocolo ZigBee (suas principais funções e primitivas), tentando identificar sua utilização nos códigos-exemplo. O protocolo 802.15.4 não foi estudado profundamente, pois ele pertence a uma camada transparente à camada de rede do

ZigBee, ou seja, as funções do protocolo ZigBee chamam as funções do protocolo 802.15.4 sem que a aplicação enxergue isso.

Entretanto, devido à má estruturação dos códigos-exemplo, não foi obtido sucesso e o grupo percebeu que talvez fosse mais fácil e rápido se desenvolvêssemos nosso próprio código, sem reaproveitar os códigos-exemplo, utilizando-os somente como referência.

Assim, iniciou-se uma nova fase de estudos, onde acreditávamos que nem mesmo o protocolo IEEE 802.15.4 estava implementado. Assim, estudou-se o detalhamento do hardware, ou seja, as funcionalidades e modos de operação de cada chip pra tentar implementar as funções básicas de comunicação para que os módulos pudessem ao menos trocar frames com informações sobre as potências, não implementando todo o protocolo. Uma parte de código foi escrita com a configuração do chip CC2420 e do microcontrolador C8051F120, assim como o protocolo de comunicação entre esses dois componentes (maiores detalhes no item "Detalhamento do hardware").

Entretanto, uma vez que esse alternativa também apresentou uma implementação muito complexa, retornamos ao estudo dos protocolos e dos códigos-exemplo, chegando à conclusão que todas as funções já estavam implementadas, e que bastava chamá-las pela aplicação.

Os últimos testes consistiram em testar as bibliotecas com a implementação dos protocolos ZigBee e IEEE 802.15.4, porém, não foi possível utilizá-las pois o compilador Keil não as reconhecia e nenhum outro compilador poderia ser utilizado, como o SDCC, que chegou a ser testado, mas devido às bibliotecas já terem sido compiladas com o compilador Keil, não havia compatibilidade com a aplicação compilada com o SDCC.

Desta forma, devido à impossibilidade de utilizar as bibliotecas, o grupo decidiu utilizar a própria aplicação DEMO de medida de potência disponibilizada no kit e adaptá-la para a aplicação do projeto, como descrito mais adiante.

Programação dos módulos ZigBee

A aplicação dos módulos ZigBee foi implementada em Linguagem C. Como dito anteriormente, a implementação do protocolo IEEE 802.15.4 e ZigBee é fornecida pelo fabricante dos módulos ZigBee (Silabs) como uma biblioteca .LIB implementada em linguagem C, onde se encontram as funções compiladas como arquivos relocáveis .REL. Porém o código-fonte não é disponibilizado. Assim, é necessário linkar manualmente estas bibliotecas no momento da compilação do código da aplicação.

O kit de desenvolvimento da Silabs fornece uma ferramenta IDE composta por um editor, o compilador, assembler e o *linker* da Keil.

Uma vez que o código é desenvolvido e compilado, o arquivo hexadecimal .HEX pode ser carregado na memória flash do microcontrolador através de um adaptador serial disponível no kit.

A IDE da Silabs apresentou pouca facilidade de uso, sendo sua interface gráfica muito confusa e suas funcionalidades difíceis de serem entendidas e utilizadas. Além disso, nos últimos testes realizados com as bibliotecas ZigBee, descobriu-se que a versão do compilador Keil que é integrado à IDE é um *evaluation*, limitando o tamanho do código em 1Kbyte.

Assim, utilizou-se uma outra ferramenta IDE cujo compilador integrado fosse o Keil (por causa das bibliotecas já compiladas com esse compilador) e sua versão fosse integral. Essa ferramenta é o uVision, destinado à programação de microcontroladores.

A interface e funcionalidades do uVision se mostraram bastante fáceis e intuitivas para se utilizar.

Os principais parâmetros a serem configurados na IDE antes de iniciar a codificação da aplicação são:

- Tipo e fabricante do microcontrolador ao qual se destina o código
- A faixa de endereços da memória flash onde o código será alocado
- O tipo de código: SMALL ou LARGE

A configuração de tais parâmetros é importante para que o código seja desenvolvido de acordo com o microcontrolador utilizado.

Detalhamento do Hardware

A infra-estrutura de hardware do projeto é composta pelos módulos ZigBee. O protótipo do projeto utiliza seis módulos, onde três deles são utilizados como as antenas fixas (um módulo Master ligado ao computador e outros dois coordenadores) e os outros três são os módulos que ficam nos veículos (escravos).

Cada módulo é composto por um microcontrolador, um chip transceiver RF, um chip de integração com o computador via USB, uma antena, componentes passivos e outros CI's complementares como conversores AD/DC.

Abaixo encontra-se a descrição de cada componente de um módulo ZigBee:

Microcontrolador C8051F120 Silabs

O microcontrolador é responsável por coordenar todas as operações no módulo. Ele é considerado um componente Master, sendo todos os outros Escravos. Assim, o microcontrolador:

- Configura os modos de operação do transceiver, através dos registradores de configuração e comandos que disparam uma sequência de ações que o próprio transceiver realize para configuração.
- Sincroniza a comunicação com o transceiver, gerando o clock que o alimenta
- Controla a transmissão e recepção de dados entre módulos ZigBee

Memória

A memória do C8051F120 é composta por uma memória flash de 128 kbytes para alocação do código e uma memória XRAM de oito kbytes. A XRAM é interna ao microcontrolador, havendo também espaço de memória RAM para mapear RAM externa ao chip do microcontrolador [30].

A figura abaixo ilustra a organização da memória do C8051F120:

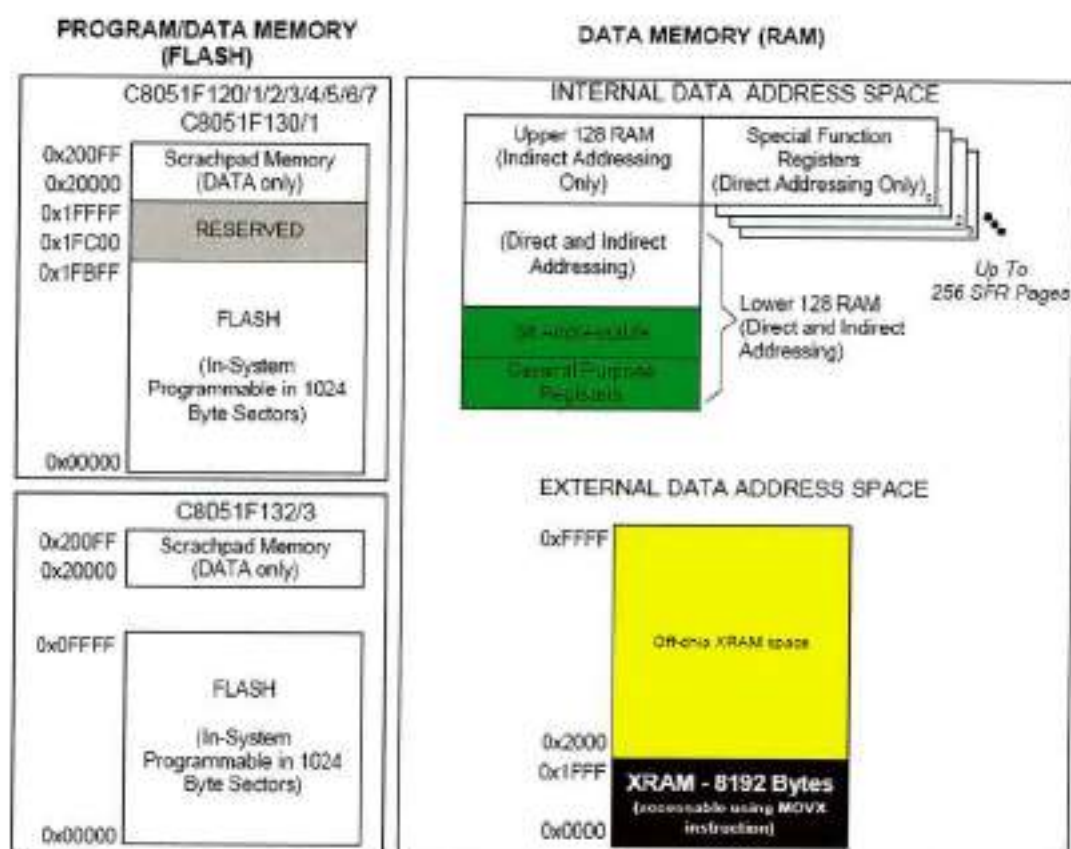


Figura 18 - Organização da Memória do C8051F120

Transceiver RF CC2420 Chipcon

O transceiver é responsável por transmitir e receber os dados de outros módulos através da antena acoplada. Os modos de transmissão e recepção suportam o protocolo de camada 1 e 2 IEEE 802.15.4.

Toda a configuração e operação do transceiver são feitas através do microcontrolador.

Sua configuração é feita através de registradores internos. Cada registrador possui um endereço de seis bits para que o microcontrolador possa configurá-lo. Além disso, a configuração pode ser feita através dos chamados *command strobes*. Tais comandos disparam uma sequência de ações para realizar determinada operação no transceiver. Assim, basta que o microcontrolador referencie o *command strobe* de configuração desejado através de seu ID para que a sequência de configurações seja disparada.

As principais configurações a serem feitas no transceiver são as configurações de operação básica (chip enable, ativação do clock, habilitação de interrupções) e as configurações de modo de transmissão e recepção, descritas no próximo item.

Modo de transmissão e recepção de dados

O transceiver opera em dois modos diferentes. O modo utilizado no projeto utiliza um buffer de dados para transmissão e recepção. O modo de operação sem o buffer não é muito utilizado, apenas em aplicações-teste. A configuração do modo de transmissão/recepção é feita através dos registradores MDMCTRL1.TX e MDMCTRL1.RX.

Ao transmitir um frame, o transceiver primeiro o aloca em um buffer de 128bytes chamado TXFIFO, localizado em sua memória RAM. Um preâmbulo é automaticamente inserido no início do frame. O disparo do *command strobe* STXON ou STXONCCA inicia a transmissão do frame alocado no buffer. Após todo o frame ser transmitido, um bit de *flag* chamado SFD (*Start of Frame Delimiter*) é ativado indicando fim da transmissão.

O receptor também pode operar com ou sem a utilização de um buffer de dados (de tamanho de 128 bytes). Da mesma forma que no transmissor, o modo de operação sem o buffer deve ser utilizado apenas para testes e debug.

Ao detectar o recebimento de um frame, o bit de *flag* SFD é ativado, indicando que um novo frame está sendo recebido. O frame é então armazenado no buffer para que seja lido através do registrador RXFIFO.

O acesso aos *buffers* de transmissão e recepção é feito através dos registradores TXFIFO e RXFIFO. A leitura desses dois registradores limpa os *buffers*. Assim, uma escrita no registrador TXFIFO com o frame a ser transmitido automaticamente o transfere para o buffer, assim como a leitura do RXFIFO automaticamente retira o frame do buffer. O acesso direto aos *buffers* na memória RAM permite que a leitura dos *frames* seja feita, porém não os retira do buffer.

Comunicação com o microcontrolador

O microcontrolador está conectado com o transceiver através de quatro portas seriais: uma para o clock que alimenta o transceiver, duas para transmissão de dados (entrada e saída) e outra de chip *enable*. A figura 19 ilustra esta interface entre os dois componentes. O esquema elétrico do módulo pode ser visto no Anexo [4].

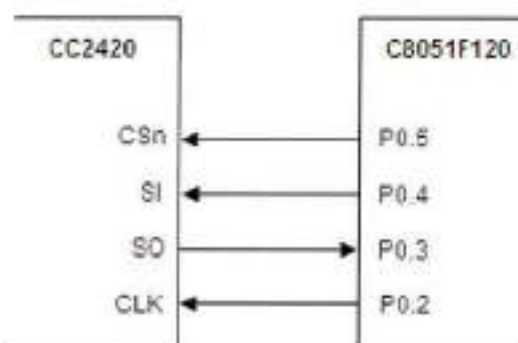


Figura 19 - Comunicação Microcontrolador com Transceiver

A porta P0.5 do microcontrolador seta o bit de *chip enable* CSn. A porta P0.2 gera o clock que alimenta o transceiver, através da utilização de um timer do C8051F120.

Já as portas P0.3 e P0.4 correspondem aos canais seriais por onde o microcontrolador envia mensagens do transceiver. Tais mensagens contêm dados de configuração dos registradores do CC2420, solicitação de disparo de *command strobes*, dados a serem transmitidos e dados recebidos de outros módulos.

As mensagens são enviadas e recebidas do microcontrolador para o transceiver através de portas seriais, ou seja, a mensagem é transmitida bit a bit, na borda de subida do sinal de clock.

As mensagens de configuração dos registradores do CC2420 possuem 24 bits. Tais bits são enviados do através do canal serial SI a cada ciclo de clock.

Tabela 5 - Bits Enviados pelo Canal Serial SI

Bit	Tipo	Descrição
23	RAM/Registrador	Deve ter o valor 0 para indicar o acesso ao registrador
22	Leitura/Escrita	Indica a operação: 0-Escrita 1-Leitura
21-16	Endereço	Endereço do registrador acessado
15-0	Dados	Dados transmitidos

Nota-se assim que existe uma espécie de protocolo para a comunicação entre o microcontrolador e o transceiver.

6.2. Software

6.2.1. Modelagem do Sistema

Para a modelagem do sistema, foi utilizada a metodologia UML. Com os requisitos do sistema, o grupo desenvolveu os diagramas para a modelagem do sistema. Foram produzidos: diagrama de casos de uso, diagrama de classes e diagramas de seqüências de cada caso de uso. Além disso, para a modelagem do banco de dados, foi elaborado um diagrama de entidade-relacionamento.

6.2.1.1 Diagrama de Casos de Uso e Atores do Sistema

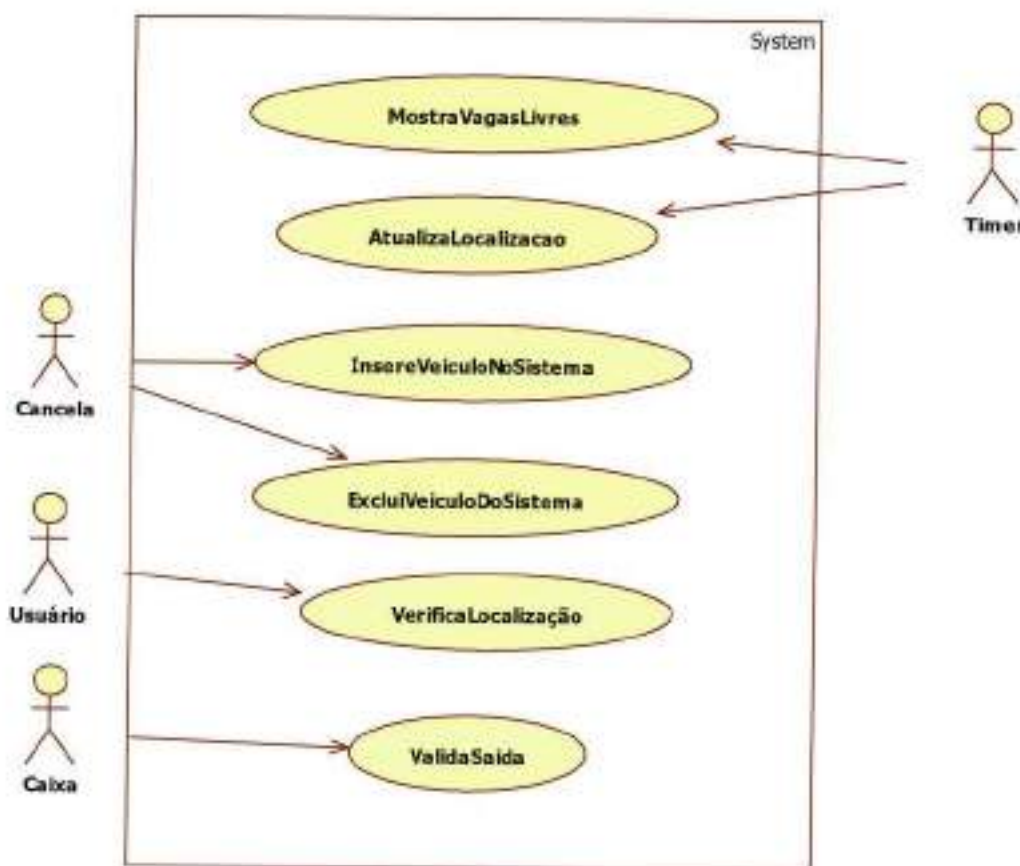


Figura 20 - Diagrama de Casos de Uso

Atores do Sistema:

Cancela: O ator cancela é uma pessoa que fica na cancela de entrada e de saída do estacionamento. Ela pode ser substituída por um sistema, mas que não faz parte do escopo deste projeto. Este sistema deve identificar a placa do veículo.

Usuário: O ator usuário é o próprio cliente final do estacionamento, o motorista.

Caixa: O ator caixa é a pessoa que deve interagir com o sistema para validar a saída dos veículos, cobrando a taxa pré-estabelecida pela administração do estacionamento.

Timer: O ator timer é responsável por chamar periodicamente alguns métodos de casos de uso do sistema.

6.2.1.2 Diagramas de Seqüência dos Casos de Uso

Diagrama de Seqüência: Caso de uso 1: MostraVagasDisponíveis.

Descrição: Este caso de uso descreve o processo de mostrar as vagas disponíveis na tela para os usuários.

Evento iniciador: A cada intervalo regular de tempo, o timer deve chamar este caso de uso.

Atores: Timer

Pré-condição: Ter conexão com o banco de dados.

Seqüência de eventos:

- Timer dispara o caso de uso que deve atualizar as vagas disponíveis na tela.
- Sistema atualiza na tela as vagas disponíveis, indicando-as em verde e as ocupadas em vermelho.

Pós-condição: Tela atualizada.

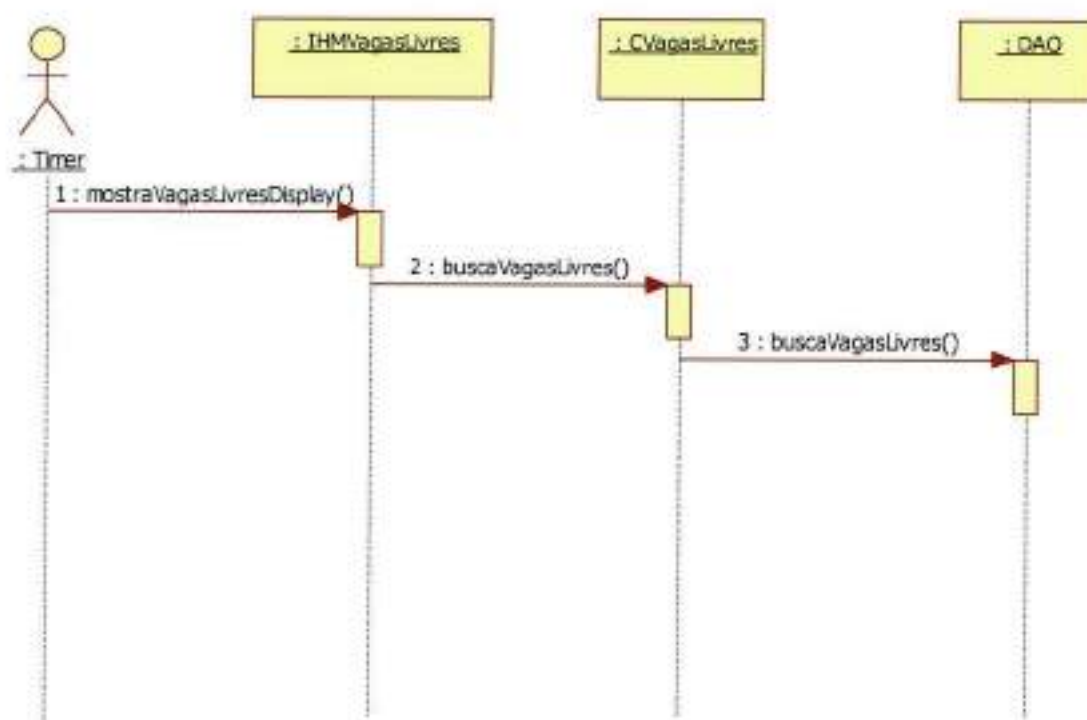


Figura 21 - Diagrama de Seqüência: MostraVagasDisponíveis

Diagrama de Seqüência: Caso de uso 2: AtualizaLocalização

Descrição: Este caso de uso descreve o processo de calcular a localização dos veículos estacionados nas vagas e identificar em qual vaga se encontra, realizando a atualização no banco de dados.

Evento iniciador: A cada intervalo regular de tempo, o timer deve chamar este caso de uso.

Atores: Timer

Pré-condição: Ter conexão com o banco de dados e ter acesso aos arquivos .txt que contém as potências do sinal medidas.

Seqüência de eventos:

- Timer dispara o caso de uso que deve atualizar a localização dos veículos;
- Busca no banco de dados a lista dos módulos ativos no estacionamento;
- Busca no banco de dados os quatro pontos de todas as vagas que definem as vagas;

- Busca lista de potências dos sinais em um arquivo txt e depois calcula a média. Faz isso para cada um dos três coordenadores, para cada módulo ativo;
- Calcula a distância das antenas fixas à antena móvel;
- Calcula a localização (x,y) da antena móvel;
- Verifica se o veículo se encontra em alguma vaga e se sim, identifica-a;
- Faz a atualização no banco de dados identificando qual carro se localiza em qual vaga;

Pós-condição: Banco de dados atualizado.

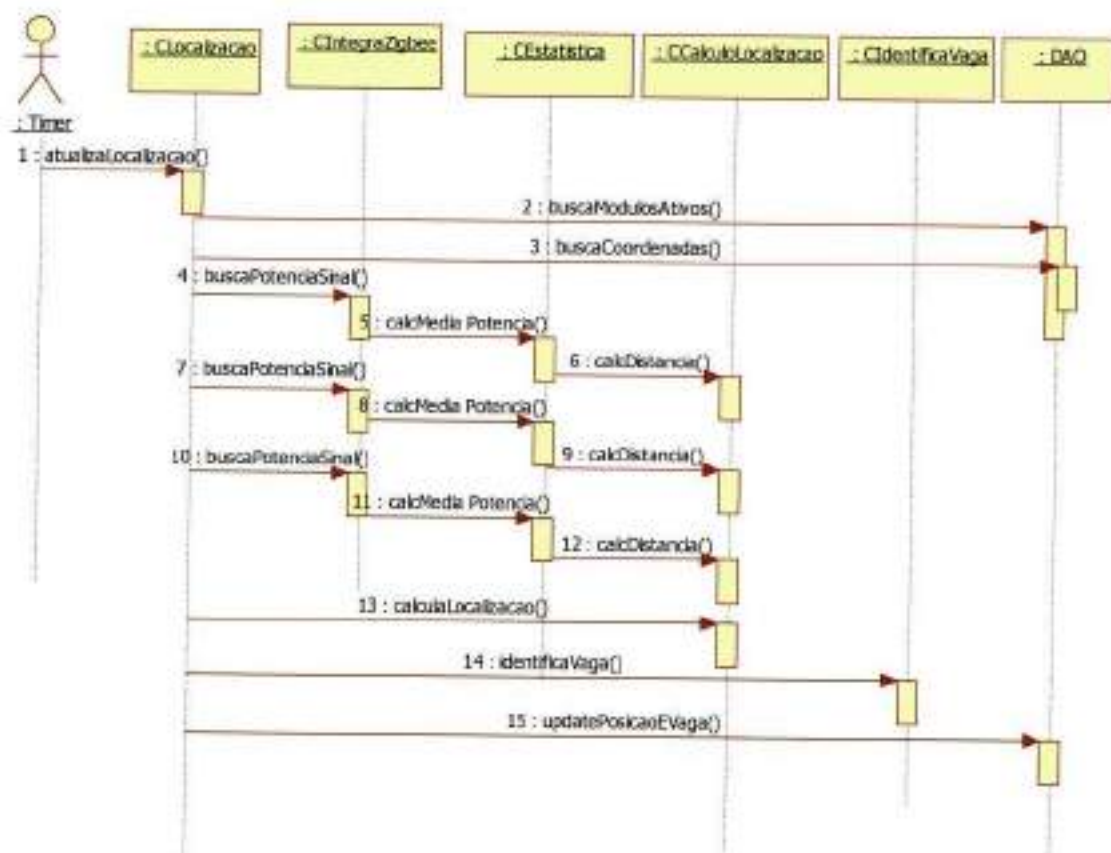


Figura 22 - Diagrama de Seqüência: AtualizaLocalização

Diagrama de Seqüência: Caso de uso 3: InsereCarroNoSistema.

Descrição: Este caso de uso descreve o processo de inserção de um veículo no sistema.

Evento iniciador: Quando o veículo chegar, o ator Cancela deverá iniciar o caso de uso.

Atores: Cancela.

Pré-condição: Ter conexão com o banco de dados.

Seqüência de eventos:

- Veículo chega na cancela do estacionamento e recebe um módulo ZigBee;
- Ator entra com a placa e o id do módulo no sistema;
- Sistema insere o novo veículo no banco;
- Veículo entra no estacionamento.

Pós-condição: Banco de dados atualizado com o veículo que acabou de entrar.

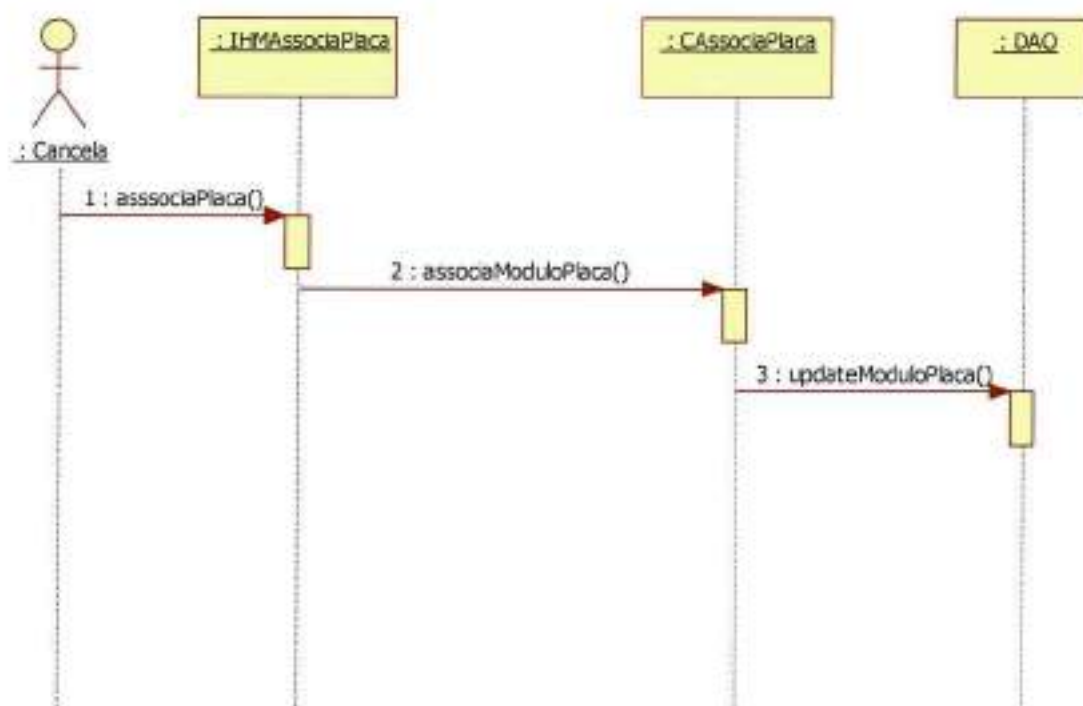


Figura 23 - Diagrama de Seqüência: InsereCarroNoSistema

Diagrama de Seqüência: Caso de uso 4: VerificaLocalização.

Descrição: Este caso de uso descreve o processo de consulta de localização de um veículo estacionado.

Evento iniciador: Quando o usuário desejar consultar a localização de seu veículo, insere a placa do mesmo no sistema e clica no botão ok.

Atores: Usuário.

Pré-condição: Ter conexão com o banco de dados.

Seqüência de eventos:

- Usuário digita a placa de seu carro no sistema e clica no botão ok;
- Sistema mostra a ele a localização de seu veículo no display.

Pós-condição: Usuário tem acesso à localização de seu veículo.

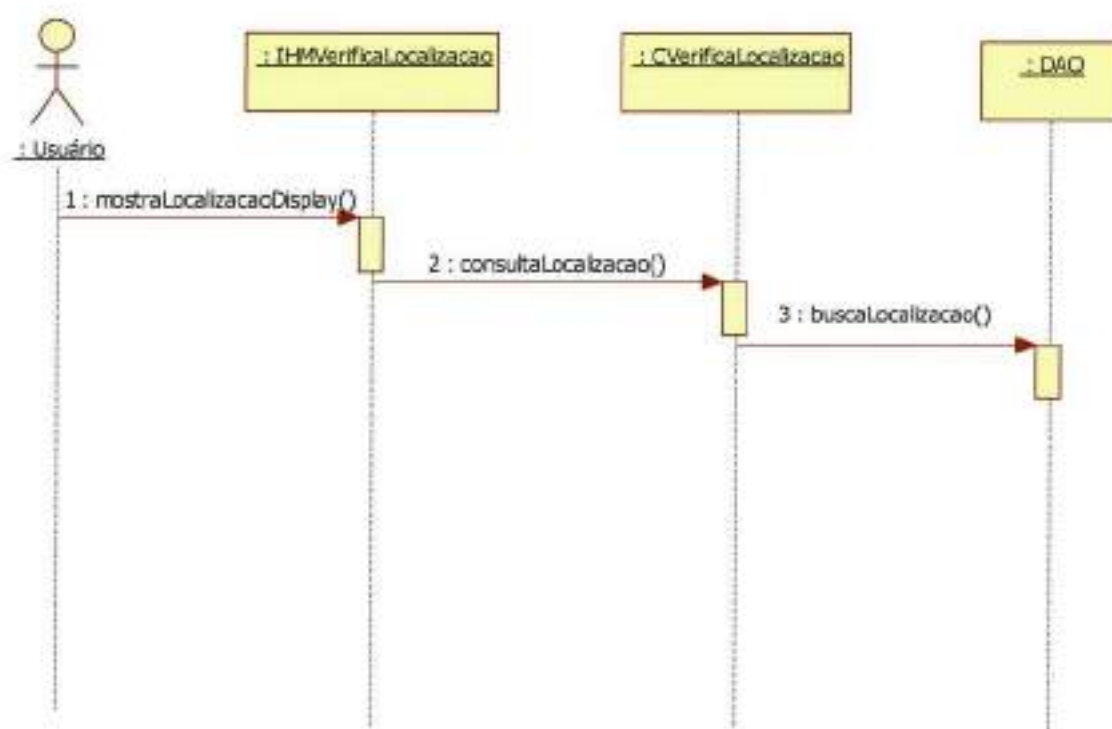


Figura 24 - Diagrama de Seqüência: VerificaLocalização

Diagrama de Seqüência: Caso de uso 5: ExcluiVeiculoDoSistema

Descrição: Este caso de uso descreve o processo de saída do veículo do estacionamento.

Evento iniciador: Quando o usuário chegar na cancela, o caso de uso é iniciado pelo ator Cancela.

Atores: Cancela

Pré-condição: Ter conexão com o banco de dados.

Seqüência de eventos:

- Veículo se aproxima da cancela;
- Ator Cancela entra com a placa do veículo;
- Sistema verifica no banco de dados se o veículo pagou;
- Abre cancela caso esteja tudo ok;
- Veículo sai e sistema o exclui do banco.

Pós-condição: Veículo não está mais no banco e nem no estacionamento.

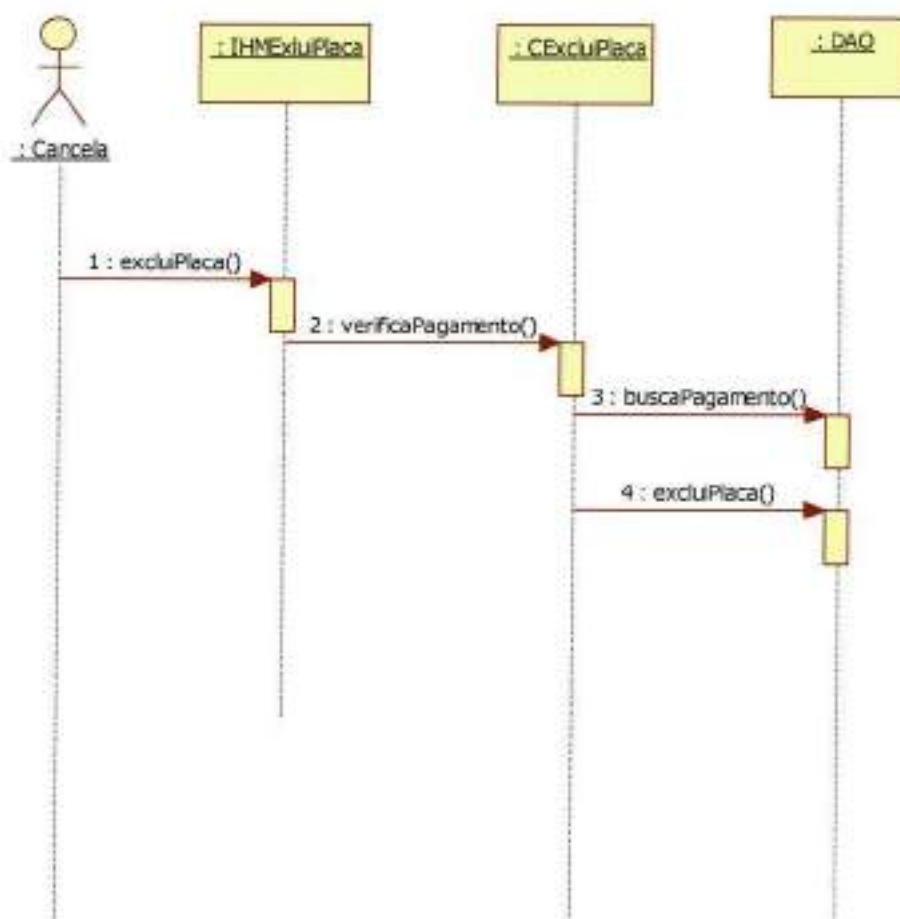


Figura 25 - Diagrama de Seqüência: ExcluiVeiculoDoSistema

Diagrama de Seqüência: Caso de uso 6: ValidaSaida

Descrição: Este caso de uso descreve o processo de validação, ou pagamento, da utilização do estacionamento por período.

Evento iniciador: Caixa insere a placa do veículo que deseja pagar.

Atores: Caixa

Pré-condição: Ter conexão com o banco de dados.

Seqüência de eventos:

- Caixa digita a placa do veículo que deseja validar sua saída;
- Sistema devolve o preço de acordo com o tempo de utilização;
- Caixa altera o status de pagamento para ok

Pós-condição: Status do veículo com relação ao pagamento fica ok.

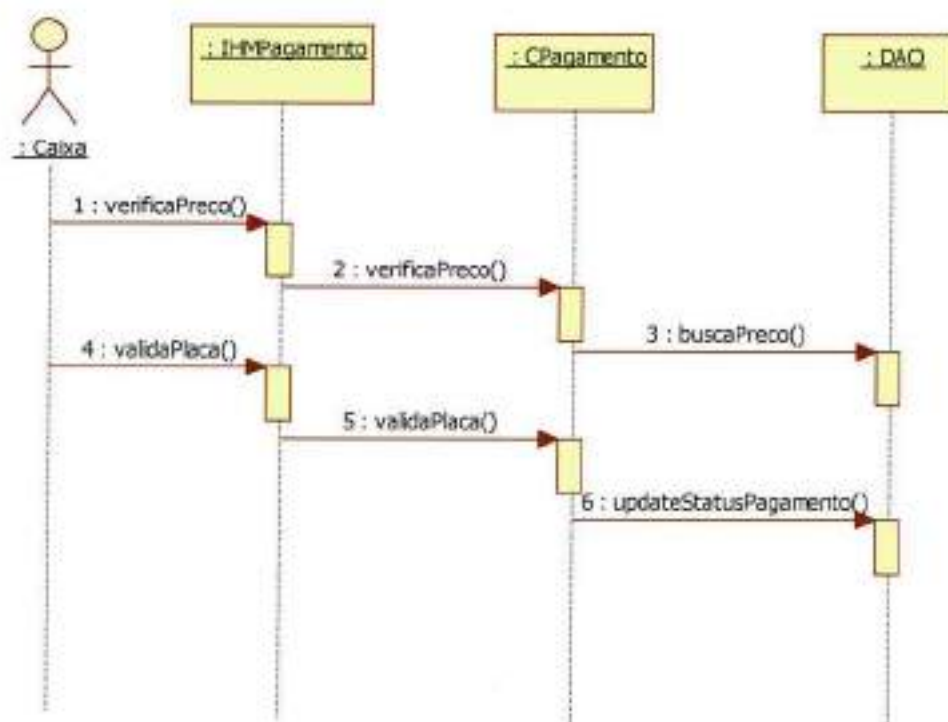


Figura 26 - Diagrama de Seqüência: ValidaSaida

6.2.1.3 Diagrama de Classes

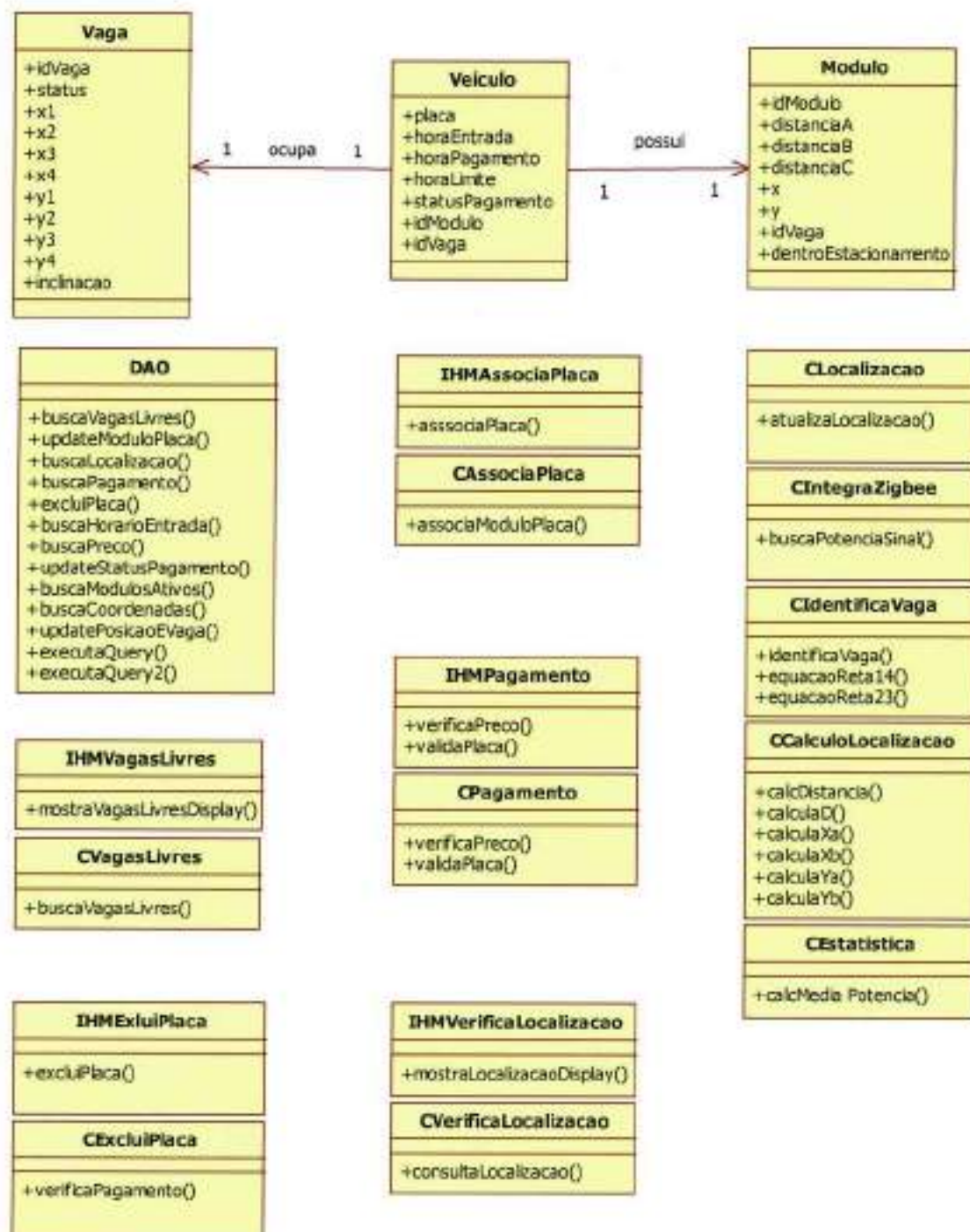


Figura 27 - Diagrama de Classes

6.2.1.4 Diagrama Entidade Relacionamento do Banco de Dados

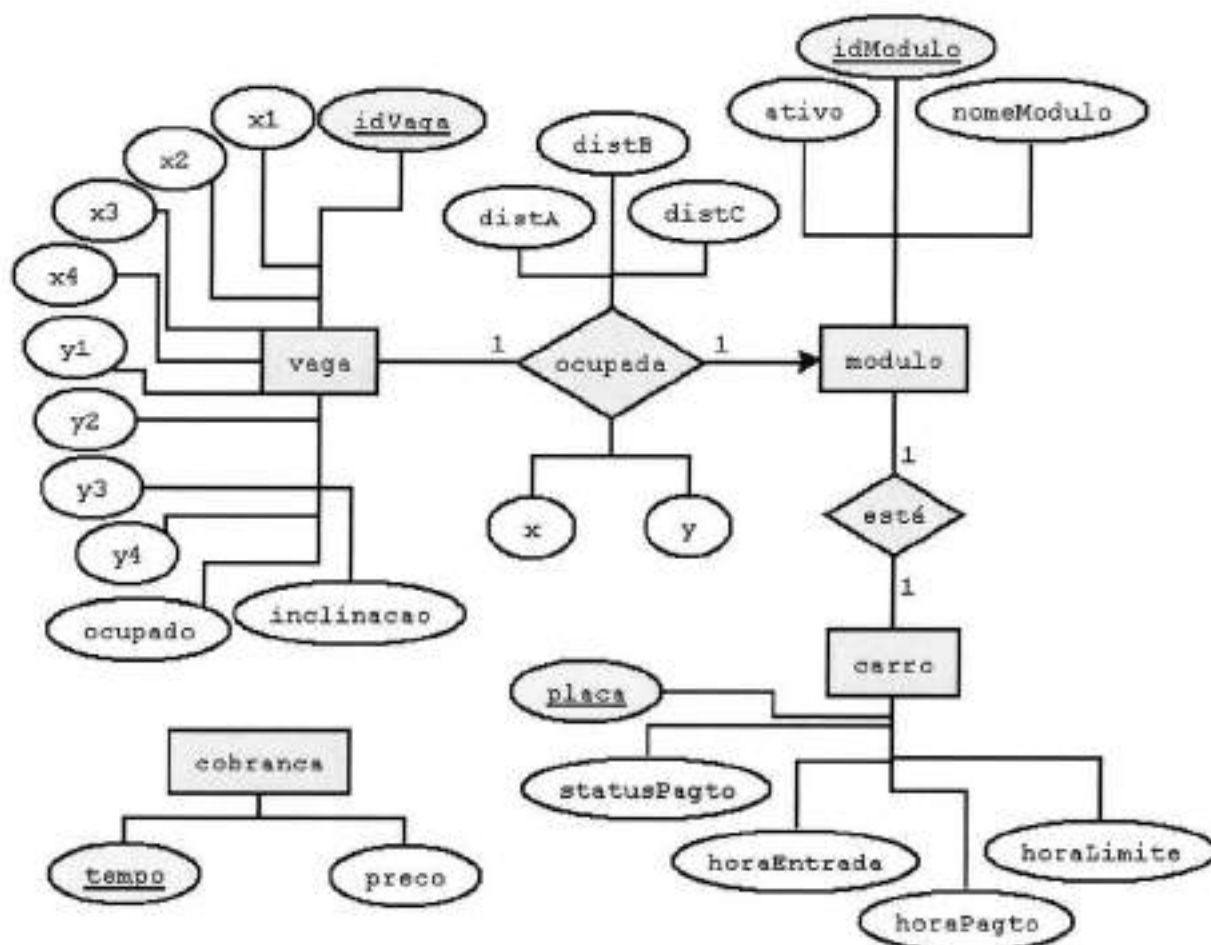


Figura 28 - Diagrama Entidade-Relacionamento

6.2.2 Implementação do Sistema para localização dos veículos

Ao longo do desenvolvimento do projeto, o grupo desenvolveu alguns métodos específicos para a localização de veículos. Lembrando o diagrama de sequência do item Modelagem do Sistema, do caso de uso: AtualizaLocalização, a sequência de ações tomadas é:

- 1) Busca lista de módulos ativos e as coordenadas das vagas no banco;

- 2) Busca potência do sinal e calcula moda;
- 3) Calcula distância, efetuando a conversão;
- 4) Calcula Localização;
- 5) Identifica Vaga;
- 6) Atualiza no banco de dados.

Usando um critério de escolha a partir da complexidade de implementação, apenas algumas ações serão detalhadas abaixo:

- 2) Busca potência do sinal e calcula moda;
- 3) Calcula distância, efetuando a conversão;
- 4) Calcula localização (coordenadas x e y);
- 5) Identifica vaga.

6.2.2.1 Busca potência do sinal e cálculo da moda

Os módulos do Kit ZigBee deveriam ter sido programados para que um dos coordenadores ficasse conectado a um computador e a partir desse, o sistema iria obter as potências do sinal dos outros dois coordenadores, estabelecendo uma topologia. Entretanto, como a programação dos módulos ZigBee não pôde ser concluída com sucesso, pelos motivos descritos no item de hardware, o grupo adotou uma alternativa para a demonstração do sistema.

A alternativa adotada para contornar o problema do sistema não conseguir obter as potências do sinal de cada coordenador automaticamente, foi a seguinte:

- 1) O módulo que deve ficar conectado ao computador que roda o sistema deve ser o próprio a ser encontrado pelo sistema, ou seja, o próprio módulo móvel;
- 2) Este módulo móvel que deve ficar conectado ao computador deve se comunicar com os três módulos coordenadores, ou seja, com as antenas fixas, se comunicando com cada um, um por vez;

3) Para a obtenção das potências, por não conseguir que ela fosse automática, na demonstração, um componente do grupo deverá iniciar a aquisição da potência do sinal na aplicação exemplo do kit, escolhendo o id do módulo em que deseja se comunicar;

4) Depois de terminada a aquisição de um determinado valor desejado, a pessoa que estiver controlando o computador deve salvar a aquisição em um txt, em um diretório específico conhecido pelo sistema e também seguindo um padrão de nome;

5) Após a aquisição das potências da comunicação com os três módulos, o sistema deve ser iniciado, com o botão de "Atualizar Localização";

6) A partir deste momento, o sistema se responsabiliza por realizar todos os cálculos para a obtenção da localização do módulo móvel. Primeiramente, o sistema deve pegar a moda das potências adquiridas para cada um dos módulos, resultando no final com três valores de potência, um para cada módulo;

7) Depois disso, o sistema ainda passará a realizar os demais cálculos, como já foram especificados nos outros itens. Realiza a conversão da potência do sinal para uma distância, depois faz o cálculo da coordenada (x,y) do módulo e por último, verifica em qual vaga está estacionado.

6.2.2.2 Calcula distância, efetuando a conversão

A potência do sinal, em dBm, é obtida pela comunicação entre um módulo ZigBee conectado a um computador e um módulo móvel, com o auxílio do programa do kit de desenvolvimento da Silicon Laboratories [15] [16] [17]. Com a potência do sinal, podemos encontrar uma relação entre a potência do sinal e a distância entre os módulos, que decai sobre a equação de transmissão de Friis [25]:

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

Figura 29 - Equação de Transmissão de Friis

Onde:

P_r é a potência disponível na antena de recepção, em mW ou W

P_t é a potência transmitida na antena de transmissão, em mW ou W

G_t é o ganho da antena de transmissão

G_r é o ganho da antena de recepção

R é a distância entre as antenas

λ é o comprimento de onda

Segundo o datasheet da antena [Anexo 2] utilizada, sendo o mesmo modelo utilizado tanto na antena de recepção quanto na antena de transmissão o ganho G_r e G_t são 4,1 dBi. A potência P_t é definida por software no kit de desenvolvimento, podendo variar entre 0 dBm e -25 dBm. No projeto, foi utilizado o valor de 0 dBm (1 mW).

O comprimento de onda λ é 0,125, já que a frequência é 2.4 GHz [Anexo 2].

Segue abaixo uma tabela com uma conversão entre distância e potência do sinal, seguindo a fórmula teórica, para que esta possa ser comparada com os resultados experimentais reais do projeto.

Tabela 6 - Aplicação da Equação de Friis

Pt (dBm)	Pt (mW)	Gt	Gr	lambida	4*Pi	R	Pr (mW)	Pr (dBm)
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	1	0,001663	-27,79
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	2	0,000416	-33,811
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	3	0,000185	-37,333
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	4	0,000104	-39,832
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	5	6,65E-05	-41,77
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	6	4,62E-05	-43,353
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	7	3,39E-05	-44,692
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	8	2,6E-05	-45,852
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	9	2,05E-05	-46,875
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	10	1,66E-05	-47,79
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	11	1,37E-05	-48,618
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	12	1,16E-05	-49,374

0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	13	9,84E-06	-50,069
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	14	8,49E-06	-50,713
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	15	7,39E-06	-51,312
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	16	6,5E-06	-51,873
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	17	5,76E-06	-52,399
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	18	5,13E-06	-52,896
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	19	4,61E-06	-53,365
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	20	4,16E-06	-53,811
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	21	3,77E-06	-54,235
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	22	3,44E-06	-54,639
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	23	3,14E-06	-55,025
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	24	2,89E-06	-55,395
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	25	2,66E-06	-55,749
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	26	2,46E-06	-56,09
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	27	2,28E-06	-56,418
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	28	2,12E-06	-56,733
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	29	1,98E-06	-57,038
0	1	4,1	4,1	0,125	12,5664	30	1,85E-06	-57,333

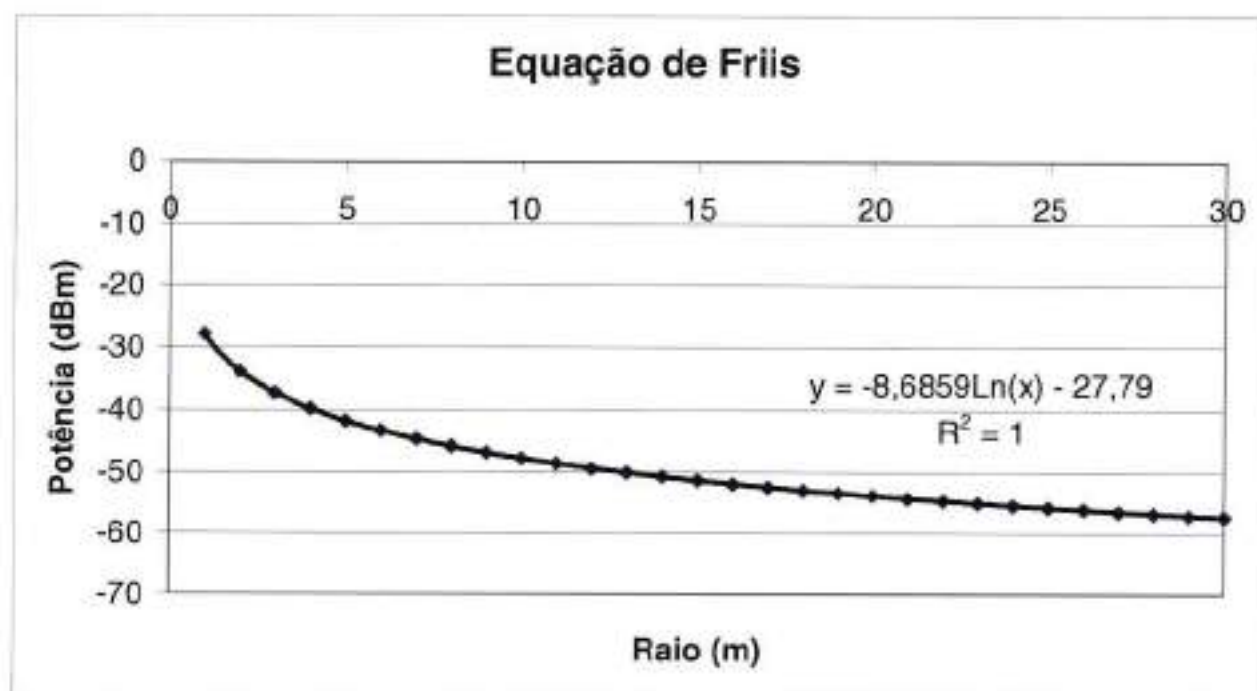


Figura 30 - Gráfico Equação de Friis - Relação Potência Sinal x Raio

Como pode ser observado no gráfico, a relação potência x raio entre as antenas pode ser traduzida pela fórmula (1):

$$\text{potencia} = -8,6859 \cdot \text{Ln}(\text{raio}) - 27,79 \quad (1)$$

Sendo potência em dBm e raio em metros.

Devido ao período abundante de chuvas, os integrantes do grupo enfrentaram muitas dificuldades nas medições da potência do sinal, já que a umidade relativa do ar ao longo de um dia pode variar muito, o que acaba afetando o sinal transmitido. Segue abaixo um gráfico de um artigo publicado [28] na Revista do Departamento de Geociências da Faculdade Estadual de Londrina em 2000. Independente de o estudo ter sido realizado em outro estado e em outro período sazonal, o que se busca é mostrar que a umidade relativa do ar pode variar muito em um mesmo dia. No gráfico abaixo, pode-se observar que a diferença da umidade relativa do ar do ponto 3 variou ao longo do dia entre 26% e 72%. Esta é uma diferença muito brusca e que deve influenciar consideravelmente a radiação do sinal das antenas, fazendo com que a relação em que desejamos encontrar entre a distância entre as antenas e a potência recebida seja completamente dependente do ambiente em que se está realizando as medidas, sendo influenciada tanto pela temperatura, umidade relativa do ar, tipos de materiais de possíveis obstáculos como paredes, chão, outros tipos de sinais que possam estar sendo transmitindo na mesma frequência, entre outros. Essa dependência do ambiente ainda é intensificada, pois a potência do sinal transmitida é muito baixa, o que atrapalha ainda mais os problemas com interferências com outros sinais e mesmo com as reflexões das próprias ondas refletidas em obstáculos.

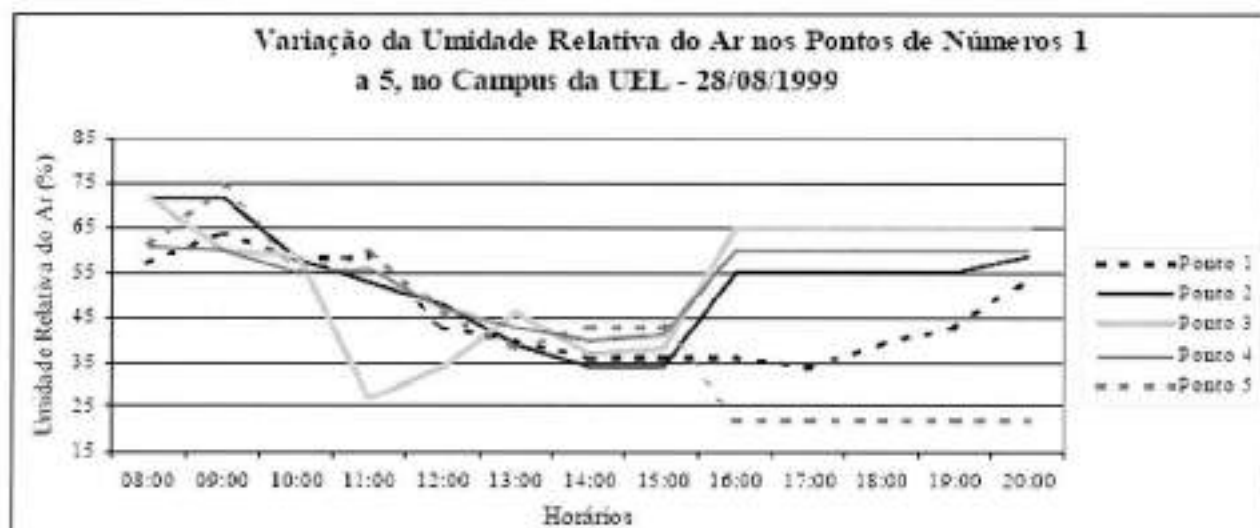


Figura 31 - Gráfico Variação da Umidade Relativa do Ar

Como o ambiente em que se realiza as transmissões influencia o sinal, foram realizados diversos testes em diferentes horários, diferentes condições climáticas e também diferentes ambientes para verificarmos o quanto que esses fatores afetavam a potência e para que fosse possível chegar em uma relação entre a potência do sinal e a distância entre as antenas.

O primeiro teste realizado ocorreu durante o período da tarde, em um ambiente fechado com concreto, em um dia sem chuvas. Neste teste, foi feita a aquisição de trinta valores para cada metro de distância, até a distância total de trinta metros. As médias dos trinta valores foram dispostas em um gráfico e uma linha de tendência foi acrescentada para que se pudesse chegar a uma relação de conversão.

O segundo teste realizado ocorreu durante o período da manhã, em um ambiente completamente aberto, em dia seco e quente. Este ambiente era um campo de futebol com grama sintética. Como no primeiro teste, foi feita a aquisição de trinta valores para cada metro de distância, até a distância total de trinta metros. As médias dos trinta valores também foram dispostas em um gráfico e uma linha de tendência foi acrescentada.

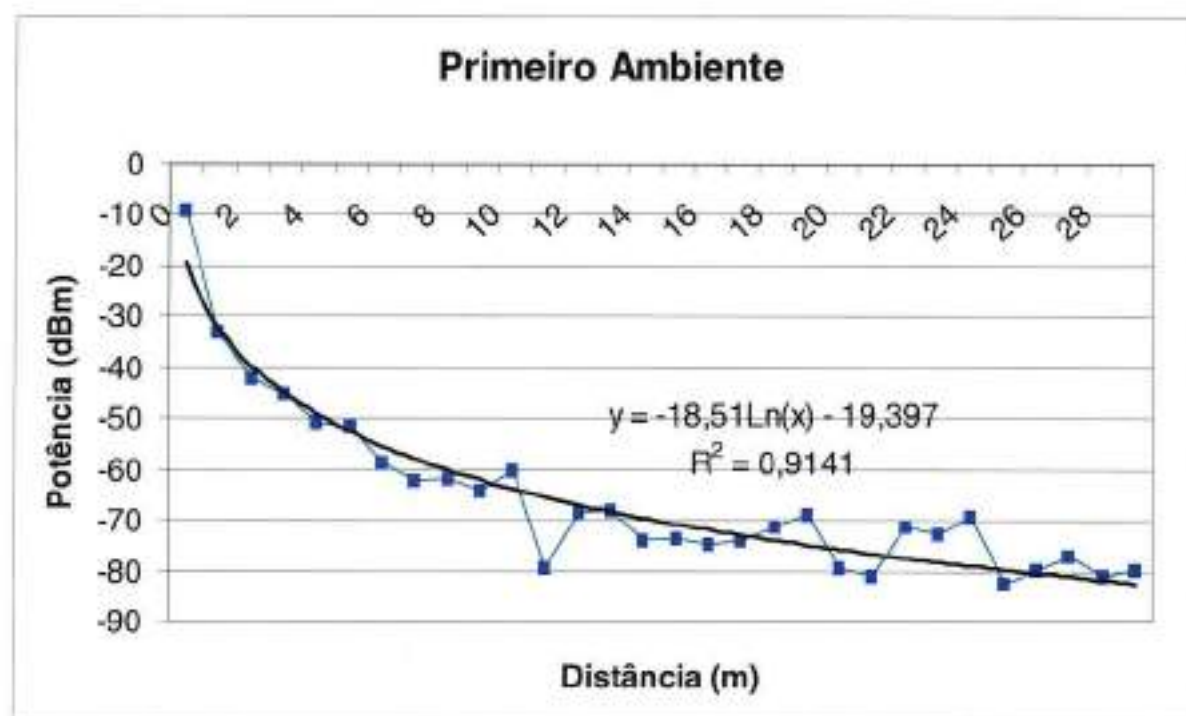


Figura 32 - Gráfico Teste: Primeiro Ambiente

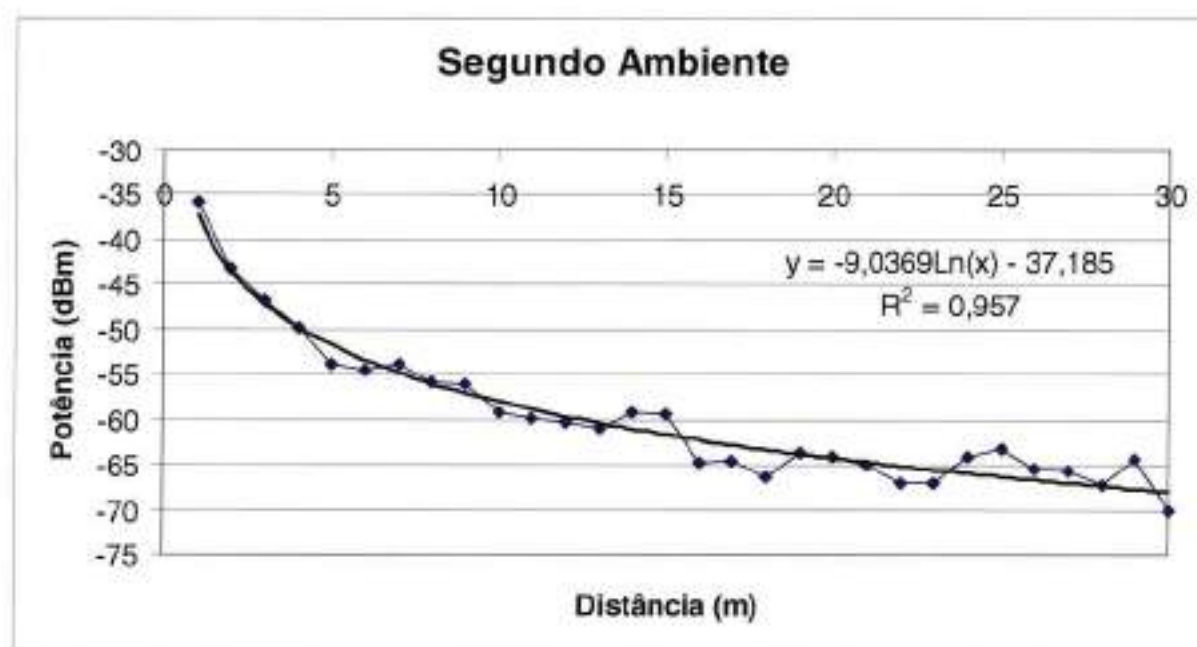


Figura 33 - Gráfico Teste: Segundo Ambiente

Tabela 7 - Comparação entre Potências do Sinal - Teórico, Ambiente 1 e 2

R (m)	Pr (dBm) Friis - Teórico	Pr (dBm) Ambiente 1	% Diferença Teórico e 1	Pr (dBm) Ambiente 2	% Diferença Teórico e 2
1	-27,8	-33,2	16,2 %	-35,8	22,5 %
2	-33,8	-42,1	19,8 %	-43,1	21,5 %
3	-37,3	-45,1	17,2 %	-46,6	19,9 %
4	-39,8	-50,8	21,6 %	-49,7	19,9 %
5	-41,8	-51,6	19,0 %	-53,8	22,3 %
6	-43,4	-58,6	26,0 %	-54,4	20,4 %
7	-44,7	-62,1	28,0 %	-53,8	16,9 %
8	-45,9	-61,8	25,8 %	-55,9	18,0 %
9	-46,9	-64,2	27,0 %	-56,1	16,4 %
10	-47,8	-60,1	20,4 %	-59,2	19,3 %
11	-48,6	-79,3	38,7 %	-59,8	18,7 %
12	-49,4	-68,3	27,8 %	-60,4	18,3 %
13	-50,1	-68,1	26,4 %	-60,9	17,8 %
14	-50,7	-73,9	31,3 %	-59,2	14,3 %
15	-51,3	-73,4	30,1 %	-59,4	13,6 %
16	-51,9	-74,5	30,4 %	-64,8	20,0 %
17	-52,4	-73,9	29,1 %	-64,5	18,7 %
18	-52,9	-71,0	25,5 %	-66,3	20,2 %
19	-53,4	-68,6	22,2 %	-63,6	16,0 %
20	-53,8	-79,6	32,4 %	-64,0	16,0 %
21	-54,2	-81,0	33,0 %	-64,9	16,5 %
22	-54,6	-71,3	23,3 %	-66,9	18,3 %
23	-55,0	-72,8	24,4 %	-67,0	17,8 %
24	-55,4	-69,2	19,9 %	-64,1	13,5 %
25	-55,7	-82,7	32,6 %	-63,2	11,8 %
26	-56,1	-79,9	29,8 %	-65,5	14,4 %
27	-56,4	-77,1	26,8 %	-65,6	13,9 %
28	-56,7	-80,9	29,9 %	-67,2	15,6 %
29	-57,0	-79,8	28,5 %	-64,3	11,4 %
30	-57,3	-81,7	29,8 %	-70,2	18,3 %

Fazendo uma primeira análise dos gráficos obtidos com os testes nos dois ambientes, podemos, primeiramente, observar que no primeiro ambiente, em que o ambiente era fechado por concreto, a relação encontrada não foi muito representativa, já que o R^2 foi de 0.9141. Pode-se observar alguns pontos muito fora da curva de tendência encontrada. Isso provavelmente deve-se às interferências do ambiente. Já no segundo gráfico, o R^2 obtido foi um pouco melhor, de 0,957, mas também podemos observar pontos em que se encontram relativamente distantes da curva de tendência. Comparando o primeiro ambiente com o segundo, podemos concluir que o segundo foi menos influenciado por fatores externos, já que foi realizado em ambiente aberto e com um piso que não reflete tanto quanto um piso de concreto. Observando as porcentagens de diferença do ambiente testado e o cálculo teórico pela equação de Friis, pode-se verificar exatamente o que foi dito, já que as porcentagens de diferença do ambiente 1 foram maiores do que das porcentagens do ambiente 2.

Apenas estes dois testes foram realizados de forma completa e formal, entretanto, o grupo realizou diversos outros testes em diferentes situações. Um exemplo, que pode demonstrar a influência da umidade relativa do ar na propagação da onda, foi um teste realizado no próprio estacionamento do prédio da elétrica durante uma tarde muito seca e quente. Uma relação distância x potência recebida foi estabelecida e no final do dia, quando o clima já havia mudado, com ameaça de chuva forte, a relação foi testada e o grupo chegou a conclusão que ela já não correspondia àquela situação. A relação encontrada chegava a errar 4 metros de distância, na tentativa de medir apenas 5 metros, um erro inaceitável para a finalidade.

Outros testes realizados dentro de salas de aula e mesmo em ambientes um pouco mais abertos mostraram ao grupo que o sinal transmitido tem uma potência muito baixa e que para que uma relação pudesse ser encontrada com uma maior precisão, provavelmente seria necessário a utilização de um amplificador de sinal.

Para a apresentação e demonstração do projeto, o grupo optou por implementá-lo em uma maquete, diminuindo as distâncias a serem utilizadas entre as antenas. Como o sinal transmitido pela antena tem baixa potência, com pequenas distâncias, a possibilidade de as interferências atrapalharem a conversão são menores.

6.2.2.3 Método para a escolha do posicionamento das antenas fixas

O método utilizado para o posicionamento das antenas fixas é o mesmo da teoria da triangulação, que pode ser observado pela figura abaixo.

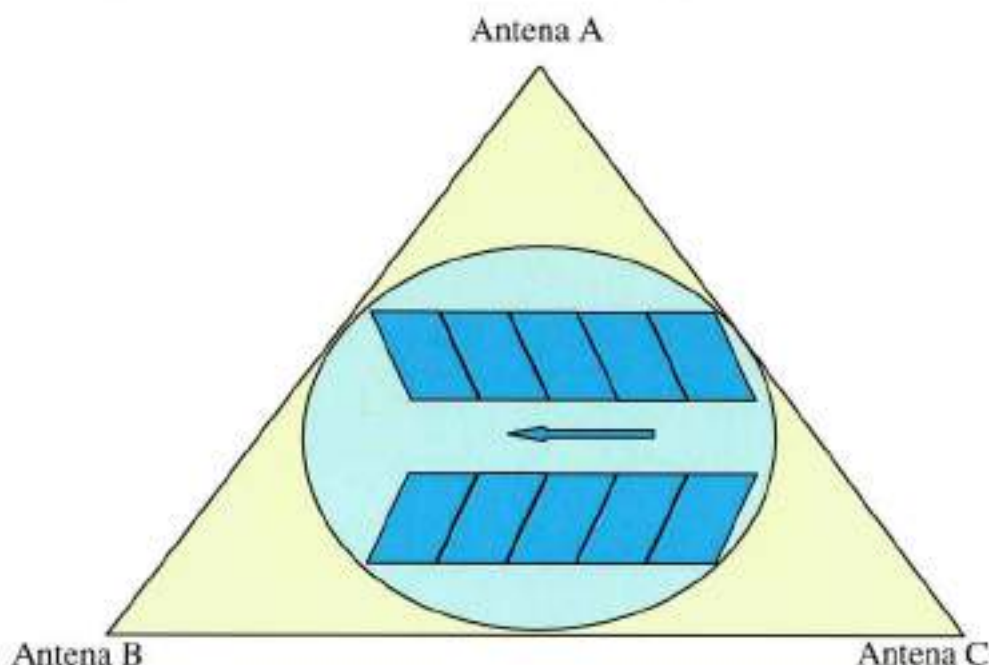


Figura 34 - Método de escolha da localização das antenas fixas

A figura acima ilustra o método utilizado para a escolha do posicionamento das três antenas fixas. As etapas seguidas para esta escolha foram feitas da seguinte maneira:

- 1) Escolher as vagas a serem cobertas pelo sistema;
- 2) Traçar um círculo, cobrindo a área de todas as vagas;
- 3) Traçar um triângulo, de tal forma que a circunferência esteja inscrita no mesmo. Os vértices do triângulo podem ser posicionados da melhor maneira, de acordo com o ambiente, escolhendo um que possa estar livre de obstáculos, como por exemplo: evitar a escolha de locais que sejam vagas ou corredores, que possam atrapalhar o trânsito de veículos.

Para a implantação do sistema em ambiente real, foram feitos estudos no estacionamento de professores do prédio da elétrica para a escolha do posicionamento das três antenas fixas. Segue abaixo a figura com as coordenadas e o posicionamento escolhido para as três antenas:

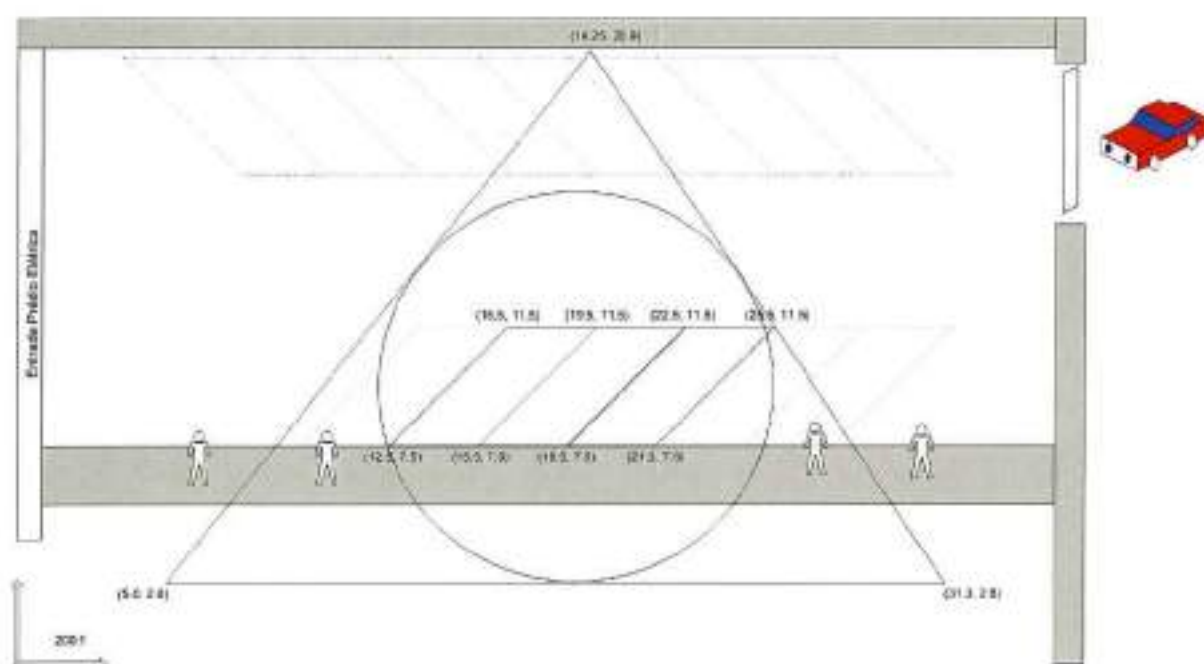


Figura 35 - Estacionamento do Prédio da Elétrica

No caso do estacionamento dos professores do prédio da elétrica, como pode ser observado na figura acima, foram escolhidas três vagas para fazerem parte do sistema de gerenciamento de vagas. As três vagas são as que estão localizadas dentro do círculo e cujas coordenadas dos pontos que as definem estão dispostos em metros. A escala utilizada é real e foi estudada pelo grupo no próprio estacionamento.

Infelizmente, pelas grandes dificuldades enfrentadas pelo grupo para encontrar uma relação entre a distância entre as antenas e a potência recebida, como é explicado no item do método utilizado para a conversão da potência x distância, os integrantes do grupo, juntamente com o orientador do projeto, definiram que para a apresentação do projeto, deveria ser produzida uma maquete e, portanto, a apresentação deixaria de ser realizada no próprio estacionamento da elétrica.

O grupo produziu uma maquete, determinando vagas fictícias sobre ela e fazendo o mesmo estudo que já foi explicado para a determinação da posição das antenas fixas.

6.2.2.4 Calcula localização (coordenadas x e y)

O método utilizado para o cálculo da localização da antena móvel, localizada no veículo a ser localizado é o da triangulação. O princípio da triangulação é a utilização de três antenas fixas, que devem ser dispostas no estacionamento de acordo com um critério que deve ser explicado posteriormente.

Sabendo a distância das três antenas fixas à antena móvel, calculada através da potência do sinal recebida pelas antenas fixas, pode-se calcular as coordenadas do ponto (x,y) em que a antena móvel e com este ponto, verificar se o veículo se encontra estacionado em alguma vaga e em qual.

Segue abaixo uma figura que ilustra o funcionamento da triangulação:

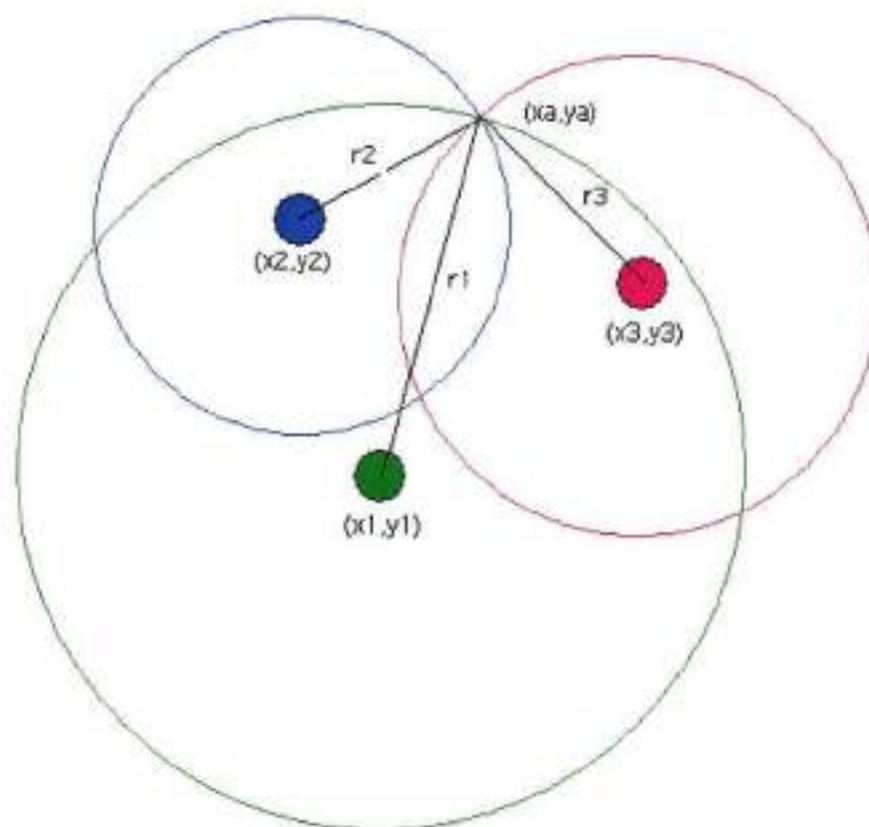


Figura 36 - Funcionamento da Triangulação

Como pode ser observado na figura, se considerarmos o ponto em que se localizam as antenas fixas (x_1, y_1) , (x_2, y_2) e (x_3, y_3) como sendo o centro de um círculo e a distância de cada antena fixa à antena móvel como sendo o raio (r_1 , r_2 e r_3), podemos traçar três círculos. Realizando a intersecção das três, poderemos encontrar um único ponto (x_a, y_a) , que é exatamente onde está localizado a antena móvel.

As fórmulas dos três círculos são:

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r_1^2 \quad (1)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r_2^2 \quad (2)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = r_3^2 \quad (3)$$

Entretanto, em um projeto real, considerando a atenuação do sinal que ocorre na transmissão entre as antenas, que pode ocorrer por diversos fatores variáveis, consideramos que a potência realmente recebida pela antena fixa será menor do que na teoria. Desta forma, a distância obtida, ou seja, o raio do círculo de cada antena fixa deve ser maior que na teoria.

Na figura abaixo podemos verificar o resultado no projeto real:

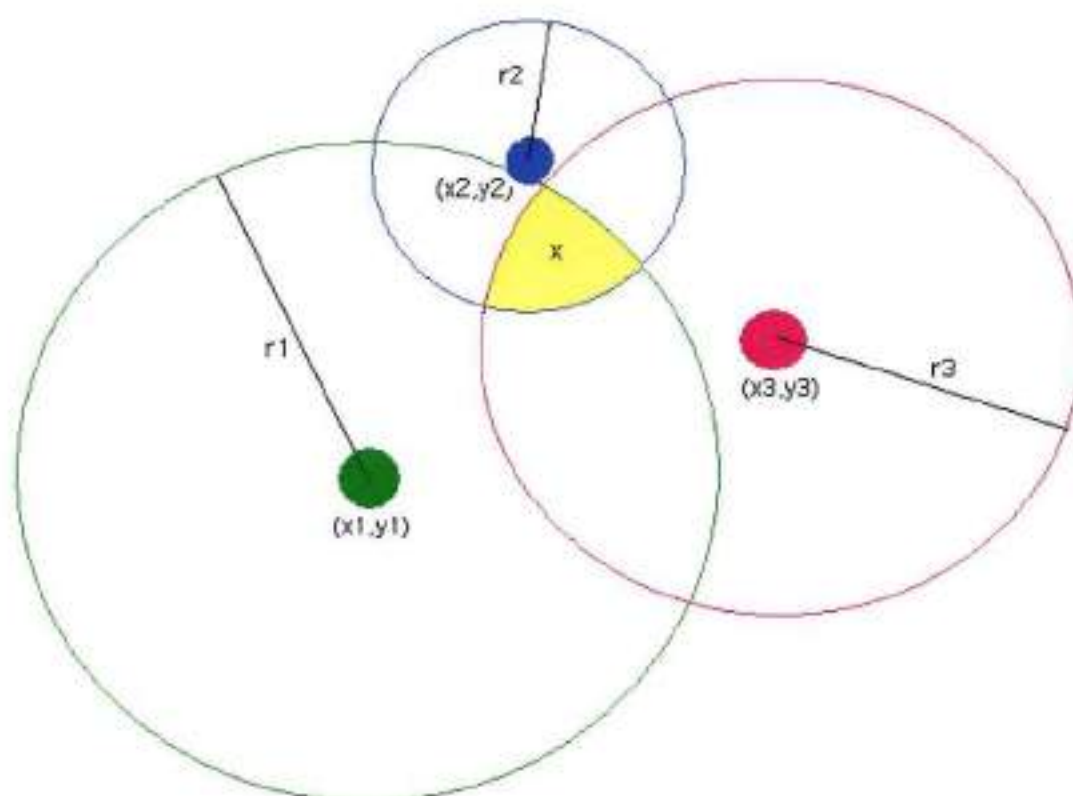


Figura 37 - Funcionamento da Triangulação no Projeto Real

Com os raios maiores, pode-se notar que a intersecção dos três círculos não resultará mais em apenas um ponto, mas em uma área, a de cor amarela, definida por três pontos.

Para o projeto, o cálculo realizado para a obtenção das coordenadas (x, y) do ponto do módulo móvel, foram implementadas as seguintes etapas:

- 1) Intersecção dos círculos, dois a dois. Para cada intersecção realizada, serão encontrados dois pontos. Um dos pontos deve ser descartado, já que deseja-se manter apenas os três pontos que definem a área mostrada na figura anterior.
- 2) Para descartar um dos dois pontos encontrados a cada intersecção de dois círculos, é calculada a distância de cada um deles até o centro do outro círculo que não participa da intersecção em questão. A menor distância é mantida e a maior descartada, pois trata-se do ponto desnecessário.
- 3) Depois da obtenção dos três pontos que definem a área onde o ponto do módulo está contido, calcula-se o baricentro do triângulo definido. Este ponto é a localização estimada da antena móvel.

A partir da fórmula do círculo, citada anteriormente, podemos deduzir as fórmulas abaixo [27] para o cálculo dos dois pontos de intersecção entre dois círculos:

$$x = \frac{x_2 + x_1}{2} + \frac{(x_2 - x_1)(r_1^2 - r_2^2)}{2d^2} \pm \frac{y_2 - y_1}{2d^2} \sqrt{((r_1 + r_2)^2 - d^2)(d^2 - (r_2 - r_1)^2)}$$

Figura 38 - Equação da Posição x (Dois pontos)

$$y = \frac{y_2 + y_1}{2} + \frac{(y_2 - y_1)(r_1^2 - r_2^2)}{2d^2} \mp \frac{x_2 - x_1}{2d^2} \sqrt{((r_1 + r_2)^2 - d^2)(d^2 - (r_2 - r_1)^2)}$$

Figura 39 - Equação da Posição Y (Dois pontos)

Onde: $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$

6.2.2.5 Identifica vaga

O método utilizado para a identificação da vaga, utiliza o ponto (x,y) em que a antena fixa está localizada, calculada anteriormente. Para a definição das vagas de um estacionamento, o programador deve definir no banco de dados os quatro pontos que definem cada uma das vagas. Para aumentar a abrangência do sistema, foi considerado que as vagas são inclinadas, não importando o grau de inclinação. Não haverá problema entretanto, se as vagas forem de 90° . Além dos quatro pontos que definem cada vaga, o programador também deve indicar no banco de dados, se a vaga está inclinada para a direita, ou para a esquerda.

Para cada vaga definida no estacionamento, o método é seguido para verificar se o ponto está na vaga, até que, ou acabem as vagas e conclui-se que o veículo não se encontra em nenhuma vaga, ou então, até que encontre a vaga em que ele está estacionado.

Abaixo, segue um exemplo de um estacionamento simplificado:

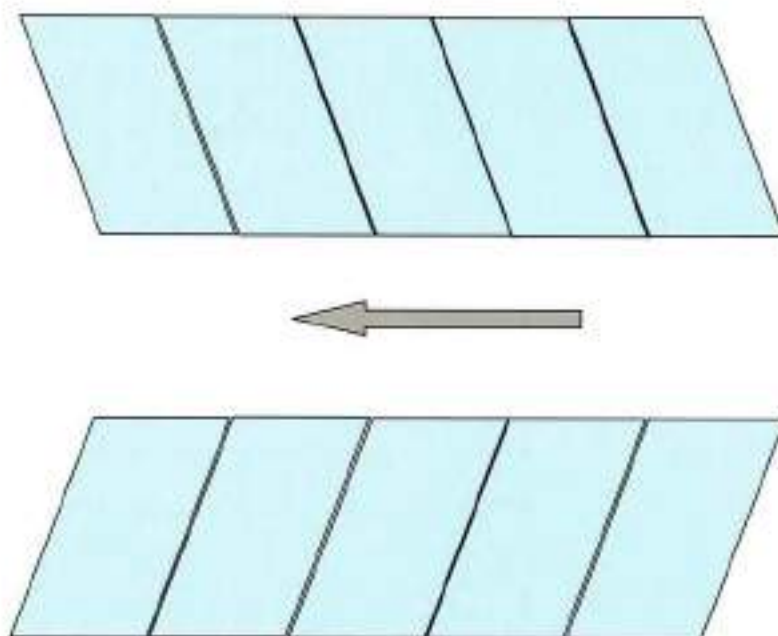


Figura 40 - Estacionamento Simplificado

Pode-se observar que a fileira de vagas de cima é diferente da fileira de vagas de baixo, sendo a de cima com vagas inclinadas para a esquerda e a de baixo com vagas inclinadas para a direita. Pegaremos um exemplo de cada tipo de vaga.

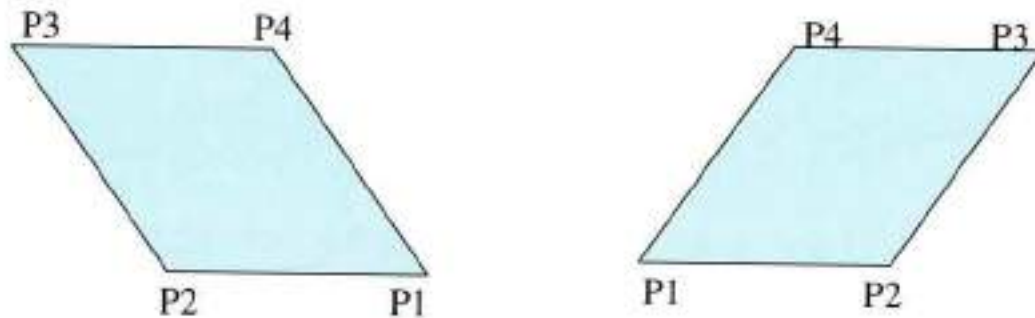


Figura 41 - Vaga Inclinada para a Esquerda e Direita

Na figura, estão definidos os quatro pontos a serem definidos no banco de dados. Com um ponto (x,y) , o método para verificar se este se encontra dentro de uma vaga é a seguinte, para uma vaga inclinada para a esquerda.

- 1) $x < x_3$ ou $x > x_1 \rightarrow$ Ponto (x,y) não está na vaga
- 2) $y < y_1$ ou $y > y_3 \rightarrow$ Ponto (x,y) não está na vaga
- 3) $x_2 \leq x \leq x_4 \rightarrow$ Ponto (x,y) está nesta vaga
- 4) $x_4 \leq x \leq x_1 \rightarrow$ Calcula equação da reta 4-1 e depois o y' com o x do ponto (x,y) .
 - 4.1) Se $y' \geq y \rightarrow$ Ponto (x,y) está na vaga
 - 4.2) Se $y' < y \rightarrow$ Ponto (x,y) não está na vaga
- 5) $x_3 \leq x \leq x_2 \rightarrow$ Calcula equação da reta 3-2 e depois o y' com o x do ponto (x,y) .
 - 5.1) Se $y' \leq y \rightarrow$ Ponto (x,y) está na vaga
 - 5.2) Se $y' < y \rightarrow$ Ponto (x,y) não está na vaga

O método utilizado para verificar se o ponto se encontra dentro de uma vaga inclinada para a direita é similar ao apresentado acima, seguindo o mesmo raciocínio.

6.2.2.6 Testes do cálculo do ponto (x,y) e a identificação da vaga

Foram realizados alguns testes, levando em consideração os diferentes casos em que podem ocorrer, no cálculo do ponto (x,y) em que o veículo está localizado e identificação das vagas. Estes testes realizados apenas verificam os métodos de cálculo do ponto (x,y) e da identificação da vaga, não levando em consideração a conversão potência x distância que também é realizada no sistema.

A sequência utilizada para os testes foi:

- 1) Escolha de um ponto aleatório no gráfico e verificação das coordenadas do mesmo, verificando apenas pelos eixos do gráfico.
- 2) Realização da medida, com o auxílio de régua, de cada coordenador até o ponto escolhido.
- 3) Medidas foram inseridas no código para o teste.
- 4) Sistema calcula e retorna tanto as coordenadas (x,y), quanto o id de uma vaga, caso o sistema esteja nesta vaga. Além disso, também foi verificado os dados atualizados no banco de dados para verificar consistência, além da verificação da interface gráfica, para certificar que a interface também passou a indicar a localização do veículo em questão.

Os testes foram realizados em uma escala bem reduzida da real, em distâncias na ordem de centímetros. Os resultados estão na tabela abaixo. As colunas com fundo cinza são as que foram fornecidas ao sistema e as com fundo branco foram as calculadas. A coluna x e y representam os pontos reais, em milímetros. Os xcalc e ycalc representam os resultados calculados pelo sistema, em milímetros. A coluna vaga é o id da vaga encontrado. As colunas dist1, dist2 e dist3 são as distâncias do módulo aos coordenadores 1, 2 e 3, respectivamente, em milímetros.

Observando os resultados na tabela abaixo, pode-se verificar que estão bastante precisos. Em todos os casos, o erro foi muito baixo e com isso, o sistema conseguiu identificar todas as vagas corretamente. O último teste foi usado para verificar se o sistema tem a capacidade de verificar que um veículo não se encontra em nenhuma das vagas.

Tabela 8 - Testes realizados em escala reduzida

x (mm)	x_{calc} (mm)	y (mm)	y_{calc} (mm)	Dist1 (mm)	dist2 (mm)	dist3 (mm)	vaga
120	122,5	250	248,9	254	137	193	1
140	141,1	250	251,6	253	155	175	2
160	161,3	260	260,7	258	169	152	3
200	200,9	270	270,9	270	205	113	5
110	110,4	180	180,8	192	175	235	6
170	171,7	190	190,8	189	211	183	8
190	193,8	180	180,6	179	233	176	9
220	224,2	180	180,8	186	260	161	10
230	232,1	195	195,9	201	259	142	10
100	99,61	240	239,6	250	125	216	-

7. Considerações Finais

7.1. Resultados Atingidos e Resultados Não Atingidos

Os resultados atingidos pelo grupo foram satisfatórios, apesar de não termos concluído toda a especificação inicial. O grupo desenvolveu uma alternativa para lidar com os imprevistos enfrentados.

Com relação ao hardware, foi possível compreender melhor as especificações e funções gerais dos protocolos IEEE 802.15.4 e ZigBee, entretanto devido a falta de documentação do desenvolvimento dos código-exemplo disponibilizados pelo kit e pela má estruturação de seus códigos-fonte não foi possível reutilizar nenhuma função implementada nos códigos-exemplo. Além disso, os documentos de especificação dos componentes e a arquitetura de montagem nas placas dos módulos também se mostraram incompletos ou inexistentes, dificultando ainda mais o desenvolvimento da aplicação. Também a grande dificuldade na utilização das

ferramentas de desenvolvimento (IDE e bibliotecas prontas) impediu a completa compreensão da implementação de aplicações ZigBee.

Desta forma, não foi possível obter nenhum resultado prático desenvolvido integralmente neste projeto, sendo utilizada a aplicação DEMO de medição de potência do sinal integrada ao software de gerência desenvolvido.

Diversos testes foram realizados com o kit, utilizando a aplicação DEMO do kit, que mede a potência do sinal, em dBm. Como já foi mostrado no item do software, na parte da conversão da potência do sinal em distância, tivemos muita dificuldade em achar uma relação que fosse a mais válida possível, já que para cada ambiente testado, a relação alterava consideravelmente. Isso fez com que o grupo realizasse diversos testes em um mesmo ambiente, tentando, por exemplo, utilizar dias semelhantes, com relação às condições climáticas, obstáculos, paredes e chão. Mesmo assim, o grupo enfrentou muita dificuldade, talvez pela baixa intensidade da potência transmitida, o que aumenta a interferência dos ruídos. A alternativa encontrada foi a montagem de uma maquete que simulasse um estacionamento real. Portanto, encontramos uma solução para a conclusão do projeto, mesmo não seguindo a especificação inicial do projeto.

Com relação à implementação de software, o desenvolvimento iniciou-se com o levantamento de requisitos do projeto, definindo os casos de uso e atores, classes com seus respectivos métodos e atributos, além do diagrama entidade-relacionamento, que define a estrutura do banco de dados. Além disso, ainda foram modelados os diagramas de sequência. Com este levantamento de requisitos do sistema, foi possível realizar o início do desenvolvimento, criando a estrutura de classes definida e o banco de dados, de acordo com a definição feita.

O sistema foi desenvolvido por caso de uso, iniciando pelos mais simples, como por exemplo, o que insere veículos no sistema. O que exigiu o maior esforço da equipe, sem dúvidas foi o que atualiza a localização, fazendo a aquisição dos dados dos módulos e a partir destes dados, realizando todos os cálculos até que se chegasse a uma conclusão da localização dos veículos. Diversos testes foram realizados ao longo do desenvolvimento, para que uma falha não fosse detectada apenas no final do projeto, o que aumentaria demais os custos e esforços para a correção, como a própria metodologia RUP demonstra.

Como a parte do hardware não foi implementada com sucesso, pelos motivos já citados acima, o grupo partiu para uma alternativa para que, ao invés de o sistema ser completamente automático, realizando a comunicação entre o módulo e os módulos coordenadores automaticamente, e posteriormente os cálculos para a obtenção da localização, o sistema passa a ser parcialmente automatizado. A parte que seria obter a potência do sinal entre os coordenadores e o módulo passa a ser parcialmente automatizada, com a utilização do programa exemplo do kit de desenvolvimento. Para cada um dos três coordenadores, o usuário deve clicar no programa para inicializar a aquisição dos dados, aguardar um período definido (30 segundos) e salvar a aquisição em um arquivo texto. A partir deste momento, o sistema volta a ser automatizado, pois, com os três arquivos texto salvados em um diretório específico, ele poderá realizar todas as etapas de cálculo já especificadas anteriormente.

Portanto, em geral, a parte do hardware apresentou muitos imprevistos, pela impressão que o grupo tinha de que o kit já viria com exemplos de códigos de implementações simplificadas, ou de uma explicação ou o código da única aplicação exemplo que estamos utilizando no projeto, a que devolve a potência do sinal, mas que o código é fechado e não pudemos tomar com base para desenvolvermos o nosso.

Já a parte do software, podemos dizer que os resultados obtidos foram satisfatórios, conseguindo implementar todos os requisitos. Entretanto, poderíamos ter tratado melhor as exceções.

7.2 Perspectivas de Continuidade

O projeto foi uma ótima oportunidade para o grupo aprimorar e desenvolver os conhecimentos principalmente na área da tecnologia ZigBee, que ainda segue em grande desenvolvimento e crescimento. O grupo observou que esta tecnologia ainda está em desenvolvimento, já que ainda não é comum encontrarmos estabelecimentos com sistemas utilizem esta tecnologia. Contudo, ao longo do desenvolvimento do projeto, o grupo percebeu o grande interesse por parte de diversos professores e

estudantes da elétrica, entre professores da área de microeletrônica e telecomunicações, além de encontrarmos alguns grupos de alunos das mesmas áreas que estão realizando seus projetos de formatura também na área.

Com o extenso estudo de mercado que foi feito do nosso projeto no *business plan* [ANEXO 1], pudemos analisar a viabilidade do projeto ter sucesso como negócio e os resultados foram bastante positivos. Entretanto, antes que se possa lançar este produto, ainda inédito no mercado, ainda serão necessários diversos estudos e implementações de melhoria no projeto.

As melhorias que devem ser feitas no projeto, envolvem a parte do hardware, que necessita de maior automatização com relação à programação dos módulos ZigBee. Como já foi citado anteriormente, esta parte não foi possível de ser realizada, mas com um maior tempo, seria possível implementá-la.

Além disso, com o protótipo finalizado, seria necessário a implementação de um projeto completo, envolvendo diversas vagas em um estacionamento real. Após estas etapas, o projeto pode ser inclusive comercializado, como foi demonstrado no business plan.

7.3 Comentários Individuais de Cada Componente

Cíntia Yoshimura

Desde a especificação do projeto, tivemos que realizar extensas pesquisas sobre que tema escolher, sempre pensando em uma idéia que fosse inovadora e ao mesmo tempo, viável economicamente. Depois, também pesquisamos bastante sobre as tecnologias disponíveis para escolhermos a mais adequada para a situação. Tudo isso, fez com que o grupo todo desenvolvesse habilidades de comunicação, cada um indo atrás de sua rede de contatos que pudessem agregar valor ao projeto. Ao mesmo tempo, a extensa pesquisa aumentou o nível de conhecimento das tecnologias disponíveis no mercado. Os problemas enfrentados pelo grupo fizeram com que aprendêssemos a lidar com imprevistos e a buscar alternativas. O projeto também serviu para mostrar que o trabalho em grupo nunca é simples, sempre ocorrendo

alguns desentendimentos que devem ser conciliados da melhor maneira possível e o mais difícil, é não levar para o lado pessoal. Com divergências ou não, sem dúvidas, tive a oportunidade de aprender muito tanto tecnicamente, quanto profissionalmente.

Guilherme Fujii

O projeto de formatura visa verificar a capacidade de trabalho em grupo, a organização e o gerenciamento do tempo disponível. Com o nosso projeto tivemos a possibilidade de treinar cada um destes itens, assim como a reação ao deparar-nos com erros de todos os tipos. Cada componente demonstrou uma reação diferenciada para cada acontecimento, influenciando os outros componentes.

Aproveitamos o tema do nosso trabalho de formatura para desenvolver um business plan, como citado no corpo do relatório, o que nos possibilitaria iniciar a carreira de forma empreendedora.

Tais projetos nos fizeram compreender a importância do relacionamento inter-pessoal, tanto na área profissional quanto na área social, visto que muitas pessoas participaram, direta ou indiretamente, do projeto como um todo para que fosse possível chegar onde chegamos.

A principal lição aprendida foi como lidar com problemas, sejam eles técnicos de implementação, ou pessoais, de relacionamento entre os componentes, pois cada um reage de forma diferenciada frente a um problema.

Paula Serikaku

O desafio do Projeto de Formatura teve início logo na definição do tema. O grupo buscou a escolha de um projeto que englobasse as principais competências da Engenharia de Computação (hardware, software e redes) e que fossem compatíveis com os assuntos de interesse de cada um dos componentes do grupo. Uma vez definido o tema, foi exigido grande esforço na busca da arquitetura ideal para funcionamento do sistema a ser projetado. A escolha de uma tecnologia recentemente

desenvolvida e pouco conhecida no mundo acadêmico tornou-se o maior desafio, instigando o aprendizado de forma auto-didática, que é a situação comumente encontrada na vida profissional.

Além disso, foi possível aplicar vários conhecimentos adquiridos nos cinco anos de curso: conhecimentos técnicos de computação, matemática estatística, administração de empresas e gestão de projetos.

O Projeto de Formatura gerou oportunidades de desenvolver a capacidade de resolução de problemas, tanto os previstos quanto os inesperados. A busca por profissionais que detinham maior conhecimento sobre assuntos que o grupo não dominava contribuiu significativamente para o desenvolvimento do projeto. O grupo contatou professores de outros departamentos, pesquisadores do LARC, visitou a empresa Sem Parar. Até mesmo a consulta informal a colegas de outros departamentos muitas vezes esclareceu dúvidas e alterou o rumo do projeto em direção à solução dos problemas enfrentados.

Outro principal aprendizado adquirido com este projeto foi o aspecto não-técnico, envolvendo o planejamento e organização pessoal para a realização das atividades do projeto, mantendo o equilíbrio emocional para as situações de pressão.

Assim, nosso Projeto de Formatura foi a grande oportunidade de consolidar todo o conhecimento técnico e experiência pessoal adquirida ao longo dos cinco anos de faculdade, colaborando para nossa formação como engenheiros.

Renato Vaz

O projeto de formatura tem como principal objetivo verificar com o aluno sua capacidade de organização e trabalho em equipe, enfrentando um projeto dessa grandiosidade o aluno enfrentará todo tipo de situação, desde a situação de pra zer de uma etapa completada com sucesso até uma falha ou algo que implique em uma mudança de planos.

Cada problema enfrentado serviu para demonstrar como cada um reage diante de um problema, insistência, mudança de planos ou completa desistência diante de um problema, essas situações são importantes para que o aluno já se

familiarize com o mercado de trabalho, onde muitas situações como as enfrentadas no desenvolvimento do projeto ocorrerão com frequência.

A principal lição aprendida foi que não devemos temer um problema, e não deixar que os outros enfrentem esses problemas sozinho, uma equipe deve ser uma equipe tanto nas horas dos sucessos como na hora dos problemas.

Referências

- [1] SCHWEITZER, C. M.; SAKURAGUI, R.; CARVALHO, T. C.; VENTURINI, Y. R.. **Tecnologias de Redes Sem Fio: WPANs, WLANs e WMANs. Desafios de Segurança, Vulnerabilidades e Soluções.** São Paulo: 7º Simpósio Segurança em Informática, 2005.
- [2] GUTIERREZ, J. A.; NAEVE, M.; CALLAWAY, E.; BOURGEOIS, M.; MITTER, V.; HEILE, B. IEEE 802.15.4: A Developing Standard for Low-Power Low-Cost Wireless Personal Area Networks. **IEEE Network**, p. 12-19, Setembro/Outubro 2001.
- [3] DUKE-WOOLLEY, R. ZigBee: Plugging the Gap in Bluetooth and WiFi. **e-principles**. Julho, 2003
- [4] KINNEY, P. ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works. **Home Toys Articles**. Outubro/2003.
- [5] CALLAWAY, E.; CALLAWAY JUNIOR, E. **Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols**. CRC Press, 2003.
- [6] RAYMOND, B.; CALLAWAY, E.; GUTIERREZ, J. **IEEE 802.15.4 Low-Rate Wireless Personal Area Networks: Enabling Wireless Sensor Networks**. Inst of Elect & Electronic, 2003.
- [7] CHON, H. D. **Using RFID for Accurate Positioning**. Sydney, The 2004 International Symposium on GNSS/GPS, Dezembro, 2004.
- [8] CHEN, D. **Sun and RFID: Build RFID Solutions Today using Sun Java System RFID Software**. Sun Tech Days, 2005.

- [9] GOLDNER, L. G.; ANDRADE, L. G. **Estudo do Estacionamento de Automóveis em aeroportos: O Caso do Aeroporto Internacional de Florianópolis - Hercílio Luiz**. Florianópolis, 2000.
- [9] GOLDNER, L. G.; ANDRADE, L. G. **Uma análise do Aeroporto Salgado Filho como um Pólo Gerador de Tráfego**, Revista dos Transportes Públicos, ANTP, ano 26, 2º trimestre 2004.
- [10] GOLDNER, L. G.; ANDRADE, L. G. **Parâmetros para o dimensionamento dos estacionamentos de automóveis em aeroportos brasileiros**, Revista dos Transportes Públicos , 2002.
- [11] ZIGBEE ALLIANCE, **ZigBee Architecture Overview**. San Jose, California: Junho, 2006.
- [12] SEARCHMOBILECOMPUTING.COM, **Transponder**. Abril, 2003.
- [13] LIMA, V. M. B. **Vida de Gado: O uso de Implantes Eletrônicos de identificação e o direito à privacidade**. 2005.
- [14] PINHEIRO, J. M. S. **RFID: Identificação por Radiofrequência**. Projeto de Redes. www.projetoderedes.com.br, 2004.
- [15] MAXSTREAM. **ZigBee Development Kit**.
<http://www.maxstream.net/products/xbec/dev-kit-ZigBee.php>
- [16] CHIPCON. **ZigBee Development Kit**,
<http://www.mouser.com/catalog/626/128.pdf>
- [17] SILICON LABORATORIES. **ZigBee Development Kit**
http://www.silabs.com/public/documents/tpub_doc/evbdsheet/Microcontrollers/en/ZigBee-2.4-DK.pdf

- [18] CINCO ELETRÔNICA LTDA. **Barreira de Infravermelho Multifeixe**
<http://www.cinko.com.br/PDFs/bir12.pdf>
- [19] ACURA TECHNOLOGIES. **RF Tags (Transponders), Cartões de Proximidade e Leitoras.** <http://www.acura.com.br>
- [20] SEM PARAR. <http://www.semparar.net>
- [21] LINKGRATIS. <http://www.linkgratis.com.br>
- [22] SHOPPING ELDORADO.
http://www.shoppingeldorado.com.br/oshopping_sobre.php
- [23] SPTV GLOBO. **Serviços:Informações::SPTV**, São Paulo, 03 de Novembro de 2006. <http://sptv.globo.com/Sptv/0.19125.LTF0-6160-250601.00.html>
- [24] GRUPO IGUATEMI SHOPPINGS. <http://www.iguatemi.com.br>
- [25] DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Estacionamento tem renda maior que loja em shopping.** 14 de Novembro de 2006.
http://www.alshop.com.br/pdf_clipping/141106d.pdf
- [26] WIKIPEDIA. **Fórmula de Friis.**
http://pt.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_de_Friis
- [27] SONOMA STATE UNIVERSITY. **Fórmula da Intersecção de Dois Triângulos.**
<http://www.sonoma.edu/users/w/wilsonst/Papers/Geometry/circles/T11-15/T13.html>
- [28] ZIGBEE ALLIANCE, **ZigBee Specification.** Dezembro, 2004

[29] SILICON LABORATORIES, **2.4 GHZ ZigBee™ Network Application Interface Programmer's guide**. Setembro, 2005

[30] SILICON LABORATORIES, **C8051F120 Datasheet**. Setembro, 2005

[31] CHIPCON PRODUCTS FROM TEXAS INSTRUMENTS, **CC2420 Datasheet 1.4**. 2006

[32] ELY D. F. **Caracterização do ambiente microclimático do Campus da Universidade Estadual de Londrina (PR) na situação de inverno do ano de 1999**. Revista do Departamento de Geociências, Volume 9, Número 2, Julho/Dezembro 2000. Londrina, 2000.

Anexos

- [1] Sistema de gerenciamento de vagas de estacionamento com uso da tecnologia ZigBee – BUSINESS PLAN
- [2] Datasheet da Antena do Kit de Desenvolvimento
- [3] Manual do usuário do kit de desenvolvimento ZigBee da Silabs
- [4] Esquema elétrico dos módulos ZigBee
- [5] Cronograma do projeto
- [6] Código do Sistema em Java
- [7] Estrutura do Banco de Dados