



Centro Universitário de Brasília – UniCEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS
Curso de Engenharia da Computação

Alberto Lincoln Mattos Pellegrini

Análise de propagação de sinais de Rádio Frequência
em redes *wireless* utilizando cabos irradiantes
com configurações diferentes em ambiente indoor

Brasília
2010

Alberto Lincoln Mattos Pellegrini

Análise de propagação de sinais de Rádio Frequência
em redes *wireless* utilizando cabos irradiantes
com configurações diferentes em ambiente indoor

Trabalho apresentado ao Centro
Universitário de Brasília (UniCEUB) como
pré-requisito para a obtenção de
Certificado de Conclusão do Curso de
Engenharia da Computação

Orientador: Ms.C. Francisco Javier De
Obaldía

Brasília-DF

2010

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por ter me dado o dom da vida.

Aos meus pais por sempre acreditarem em mim e serem meus principais incentivadores.

Aos meus irmãos por confiarem no meu potencial.

Ao meu orientador Professor Ms.C. Francisco Javier De Obaldía, pelo apoio irrestrito me auxiliando em todas as etapas do desenvolvimento deste trabalho e pelas críticas que possibilitaram a excelência desse projeto.

Aos meus professores que sempre me estimularam com seus exemplos a me tornar um competente engenheiro.

Aos meus colegas de faculdade pela convivência, parceria e amizade.

LISTA DE ABREVIATURAS

B - Bell

dB – Decibel

dBi – Decibel isotrópico

dBm – Decibel em miliwatt

DLC – Data Logical Control

GHz - Gigahertz

IEEE – Institute of Electrical and Electronic Engineers

IP – Internet Protocol

IPX - Internetwork Packet Exchange

ISO – International Organization for Standardization

LLC – Logical Link Control

MAC - Media Access Control

mW - MiliWatt

PPP – Point to Point Protocol

TCP - Transmission Control Protocol

VDP – Variable Data Publishing

WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN – Wireless Local Area Network

USB – Universal Serial Bus

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Conversão de potência de <i>milliwatts</i> para <i>dBm</i>	42
Quadro 3.2: Alguns padrões IEEE 802.11 e modulações	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Roteador 1 – IEEE 802.11b – Potência do sinal de transmissão 26dBm	67
Tabela 5.2 – Roteador 2 – IEEE 802.11g – Potência do sinal de transmissão 18dBm	68
Tabela 5.3 - Potências de Recepção Teórica e Real (em dB)	69
Tabela 5.4 - Potências de Recepção Teórica e Real (em dB)	73
Tabela 5.5 - Potências de Recepção Teórica e Real (em dB)	77
Tabela 5.6 - Potências de Recepção Teórica e Real (em dB)	81
Tabela 5.7 - Potências de Recepção Teórica e Real (em dB)	85
Tabela 5.8 - Potências de Recepção Teórica e Real (em dB)	89
Tabela 5.9 - Potência de sinal recebida por roteador e posição do cabo irradiante	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Rede sem cabo irradiante.....	16
Figura 1.2 - Rede com cabo irradiante	17
Figura 3.1- Modelo OSI	25
Figura 3.2 - Camada de Fluxo de Dados de Enlace	29
Figura 3.3 - Pilha do protocolo IEEE 802.11	29
Figura 3.4 - Componentes do Sistema de comunicação analógico	32
Figura 3.5 - O espectro de frequências	35
Figura 3.6 - Formação da onda eletromagnética	37
Figura 3.7 - Processo de transmissão e recepção de uma onda de rádio ..	38
Figura 3.8 - Polarizações de ondas na vertical e horizontal	45
Figura 4.1 - Topologia básica do projeto de medição de potência de sinal recebido	55
Figura 4.2 - Planta baixa do Bloco 7 do UniCEUB	55
Figura 4.3 - Roteador OIW-2411APG	57
Figura 4.4 - Roteador WBR- 6002	58
Figura 4.5 - Cabo irradiante	58
Figura 4.6 - Cabo irradiante aberto	58
Figura 4.7 - Madeira com cabo irradiante instalado	58
Figura 4.8 – Suporte de madeira	59
Figura 4.9 – Suporte de madeira	59
Figura 4.10 - Notebook Acer com adaptador de rede wireless e antena instalados.....	59
Figura 4.11 - Planta baixa do Bloco 7 do UniCEUB com os pontos de medição	61

Figura 4.12 – Configuração Modem IEEE 802.11b	61
Figura 4.13 – Configuração Modem IEEE 802.11g	62
Figura 5.1 - Planta baixa Sala 701 – posição de recepção de sinal	65
Figura 5.2 - Planta baixa Sala 702 – posição de recepção de sinal	65
Figura 5.3 - Planta baixa Sala 703 – posição de recepção de sinal	66
Figura 5.4 - Planta baixa Sala 704 – posição de recepção de sinal	66
Figura 5.5 - Planta baixa Corredor – posição de recepção de sinal	67
Figura 5.6 – Roteador 1 – IEEE 802.11b	69
Figura 5.7 - Medição sala 701 – Netstumbler	70
Figura 5.8 - Medição sala 702 – Netstumbler	70
Figura 5.9 - Medição sala 703 – Netstumbler	71
Figura 5.10 - Medição sala 704 – Netstumbler	71
Figura 5.11 - Medição Corredor – Netstumbler	72
Figura 5.12 - Roteador-1 com cabo irradiante na posição vertical	73
Figura 5.13 - Medição sala 701 – Netstumbler	74
Figura 5.14- Medição sala 702 – Netstumbler	75
Figura 5.15 - Medição sala 703 – Netstumbler	75
Figura 5.16 - Medição sala 704 – Netstumbler	76
Figura 5.17 - Medição Corredor – Netstumbler	76
Figura 5.18 – Roteador-1 com cabo irradiante na posição horizontal.	77
Figura 5.19 - Medição sala 701 – Netstumbler	78
Figura 5.20 - Medição sala 702 – Netstumbler	78
Figura 5.21 - Medição sala 703 – Netstumbler	79
Figura 5.22 - Medição sala 704 – Netstumbler	79

Figura 5.23 - Medição Corredor – Netstumbler	80
Figura 5.24 - Roteador 2 – IEEE 802.11g	81
Figura 5.25 - Medição sala 701 – Netstumbler	82
Figura 5.26 - Medição sala 702 – Netstumbler	82
Figura 5.27 - Medição sala 703 – Netstumbler	83
Figura 5.28 - Medição sala 704 – Netstumbler	83
Figura 5.29 - Medição Corredor – Netstumbler	84
Figura 5.30 – Roteador-2 com cabo irradiante na posição vertical	85
Figura 5.31 - Medição sala 701 – Netstumbler	86
Figura 5.32 - Medição sala 702 – Netstumbler	86
Figura 5.33 - Medição sala 703 – Netstumbler	87
Figura 5.34 - Medição sala 704 – Netstumbler	87
Figura 5.35 - Medição Corredor – Netstumbler	88
Figura 5.36 - Roteador-2 com cabo irradiante na posição horizontal	89
Figura 5.37 - Medição sala 701 – Netstumbler	90
Figura 5.38 - Medição sala 702 – Netstumbler	90
Figura 5.39 - Medição sala 703 – Netstumbler	91
Figura 5.40 - Medição sala 704 – Netstumbler	91
Figura 5.41 - Medição Corredor – Netstumbler	92

SUMÁRIO

Capítulo 1. Introdução	12
1.1 Contextualização do problema	13
1.2 Motivação	14
1.3 Objetivo	15
1.4 Visão geral	15
1.5 Estrutura do trabalho	20
Capítulo 2. Apresentação do Problema	21
Capítulo 3. Redes Locais sem fio de Curto Alcance	24
3.1 Transmissões em Redes Wireless de Curto Alcance	24
3.2 Modelo <i>OSI (Open Systems Interconnection)</i>	25
3.3 Sistema de comunicação	30
3.4 Ondas Eletromagnéticas	35
3.5 Unidades de medidas	38
3.6 Antenas	49
3.7 Rede Wireless	49
Capítulo 4. A Medição das Potências de Sinal de Recepção	53
4.1 Topologia	54
4.2 Ferramentas para o Trabalho das Medições	57
4.3 Preparativos para os cálculos de medição	60
Capítulo 5. Implementação do Projeto	63
5.1 Medições de Potência – Teóricas	63
5.2 Medições de Potência – Reais	68
5.3 Análise de resultados	93
Capítulo 6. Conclusão	95
Referências	97

RESUMO

Este trabalho trata de uma configuração de comunicação que combina o uso de cabo irradiante com rádio móvel, porém, o foco principal está nas redes *wireless*. Atualmente existe uma grande variedade de produtos *wireless* e serviços que utilizam diferentes métodos de elaboração das redes, que podem combinar diferentes tipos de tecnologia como cabos, antenas e até mesmo fibra óptica. O cabo irradiante é um cabo coaxial que contém orifícios que permitem a entrada e saída de sinais de Rádio Frequência. O objetivo geral deste projeto é medir e analisar o desempenho da circulação de um sinal, por meio de comparações teórica e prática entre duas redes WLAN *indoor*, onde são utilizados dois roteadores com diferentes potências de transmissão do sinal, assim como antena de fábrica e cabo irradiante. Os cálculos teóricos de perda de sinal apresentaram valores distintos àqueles das medições reais. A qualidade e espessura das paredes causaram uma atenuação maior do que a esperada. A perda do cabo irradiante foi tomada de acordo com as especificações do fabricante, e, assim, foram consideradas confiáveis. Pode-se concluir que o padrão de redes sem fio IEEE 802.11b apresentou um melhor desempenho quanto a perdas de potência de sinal na maioria das situações, mas mantendo a conexão. Em relação ao posicionamento do cabo irradiante, as perdas de potência de sinal de recepção foram menores em comparação com o posicionamento na horizontal. A hipótese de que o cabo irradiante ofereceria melhor potência do sinal de recepção mostrou-se falsa para o local onde os testes foram realizados.

Palavras-chave: Rede Wireless; Cabo irradiante; Rádio Frequência; IEEE 802.11; Perda de potência de sinal de recepção.

ABSTRACT

This work deals with a communication configuration that combines the use of radiant handle with movable radio, however, I focus main is in the nets wireless. Currently a great variety exists products wireless and services that use different methods of elaboration of the nets, that can combine different types of technology as handles, antennas and even though optic fiber. The radiant handle is a coaxial handle who contains orifices that allow to the entrance and exit of radio controls Frequency. The general aim of this project is to measure and to analyze the performance of the circulation of a signal, by means of comparisons theoretical and practical between two WLAN nets indoor, where two roteadores with different powers of transmission of the signal are used, as well as antenna of plant and radiant handle. The theoretical calculations of loss of signal had presented distinct values to those of the real measurements. The quality and thickness of the walls had caused a bigger attenuation of what the waited one. The loss of the radiant handle was taken in accordance with the specifications of the manufacturer, and, thus, they were considered trustworthy. It can be concluded that the standard of nets without wire IEEE 802.11b presented one better performance how much the losses of harness of signal in the majority of the situations, but keeping the connection. In respect to the positioning of the radiant handle, the losses of power of reception signal were lesser in comparison with the positioning in the horizontal line. The main hypothesis that the irradiating cable provides better power of reception signal was false in the field test.

Keywords: Wireless net; Radiant cable; Radio Frequency; IEEE 802.11; Loss of power of reception signal.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A Telecomunicação é um ramo da área de engenharia elétrica que trata da especificação e manutenção dos projetos de sistemas de comunicações. O principal objetivo da Telecomunicação é atender a necessidade do ser inteligente de se comunicar a distância. Esta comunicação se efetiva por meio dos sistemas de comunicações, onde os assinantes, usuários ou correspondentes trocam informações por meio de equipamentos terminais, elétricos e ou eletrônicos. As informações fluem de um transmissor para um ou mais receptores pelos canais de comunicações como o fio, o ar (espaço livre) e fibra óptica em forma de sinais elétricos, ondas eletromagnéticas e luz. Esses sinais quando chegam ao receptor são traduzidos de forma que os assinantes, usuários ou correspondentes possam entender as informações transmitidas.

São três os elementos básicos de todos os sistemas de comunicação, a saber: o transmissor, o canal e o receptor. Além disso, para o sistema funcionar e trocar informações, tem-se, como elementos adicionais, a mensagem e o protocolo. O transmissor está localizado em um ponto do espaço, o receptor está separado em algum outro ponto separado do transmissor, e o canal é o meio físico que os liga. O propósito do transmissor é converter o sinal de mensagem produzido por uma fonte de informação para uma forma apropriada para ser transmitida por um canal. O sinal de mensagem poderia ser um sinal de fala, sinal de televisão (vídeo), ou dados de computador. O Canal pode ser de fibra óptica, cabo coaxial, canal de satélite, ou canal de rádio de móvel; cada um destes canais tem sua área de aplicação. (HAYKIN; VEEN; 2006)

Este trabalho trata de uma configuração de comunicação que combina o uso de cabo irradiante com rádio móvel, porém, o foco principal está nas redes wireless.

As redes wireless são sistemas de comunicações onde os dados trafegam no ar em forma de onda eletromagnética, possibilitando compartilhar informações entre dois ou mais computadores. As redes *wireless* têm se tornado cada vez mais comuns no cotidiano de pequenas e médias empresas assim como nas residências. Atualmente existe uma grande variedade produtos *wireless* e serviços que utilizam diferentes métodos de elaboração das redes, que podem combinar diferentes tipos

de tecnologia como cabos, antenas e até mesmo fibra óptica. Esta variedade tem por objetivo maior oferecer maior flexibilidade no desenvolvimento de soluções que possibilitem um melhor compartilhamento de informações numa determinada área ou espaço particular, evitando problemas de conexão e comunicação entre os aparelhos.

A potência e, conseqüentemente, a qualidade dos sinais de transmissão e de recepção dependem da quantidade e da qualidade do hardware (roteadores, antenas, computadores etc) que irão compartilhar a rede de acordo com a necessidade das empresas ou da quantidade de pessoas físicas a trabalhar no local. Os três sistemas wireless mais utilizados são os padrões 802.11, WiMAX e os serviços de celular 3g. O compartilhamento de dados em uma rede wireless envolve três elementos que não dependem um dos outros dois: sinais de radio (ou onda eletromagnética), formato dos dados (ou modulação das ondas eletromagnética) e camada de rede.

O cabo irradiante é um cabo coaxial que contém orifícios, ou seja, furos, que permitem a entrada e saída de sinais de Rádio Frequência. Estes cabos facilitam a comunicação de rádio onde o espaço habitual livre de propagação de ondas eletromagnéticas como túneis, minas e edifícios é dificultado.

1.1 Contextualização do problema

As funções principais do espalhamento de roteadores e pontos de acesso são amplificar e distribuir o sinal para melhorar o compartilhamento. Para tal é possíveis dividir estes aparelhos em duas ou mais redes, assim como utilizar um cabo irradiante para substituir a antena original de um roteador transmissor. Pelo uso do cabo irradiante, pode-se espalhar o sinal de circulação no local desejado na quantidade certa e eliminar o excesso de roteadores.

Considerando o que foi exposto acima, levanta-se a seguinte questão: “Será que a instalação do cabo irradiante na posição vertical ou na horizontal oferece diferentes potências de sinais de recepção de modo a permitir eliminar roteadores em alguma situação?”

1.2 Motivação

A concretização do projeto se deve à necessidade de analisar a eficiência de redes wireless que utilizam cabos irradiantes para irradiar o sinal em ambientes fechados e com a presença de obstáculos físicos para a propagação de sinais em comparação com redes wireless que utilizam antenas convencionais.

O trabalho destaca a utilização do cabo radiante. Basicamente, estes cabos são cabos coaxiais com orifícios ao longo de sua extensão, de onde se irradia a onda eletromagnética para o ambiente externo. Os cabos radiantes são usados para facilitar a comunicação de rádio, onde o espaço habitual livre de propagação de ondas eletromagnéticas é dificultada, indesejável ou impossível como em túneis, minas, edifícios e em recintos de grandes dimensões e *layout* complexo, como recinto de exposições ou aeroportos.

Em locais fechados, ou seja, em ambientes *indoor*, onde vários aparelhos são compartilhados para a transmissão/recepção de dados, formando uma rede *Wireless WLAN*, é imperativa uma boa distribuição do sinal para que todos os equipamentos recebam um bom sinal para compartilhamento dados. Para que isto ocorra de forma otimizada é preciso observar alguns detalhes como, por exemplo, a potência do sinal do aparelho transmissor para a antena transmissora, a concentração angular do sinal e a melhor forma de instalação da antena (uma vez que alterará na polaridade de circulação do sinal trazendo ou não vantagens). Ressalta-se aqui que o sinal transmitido pela antena transmissora é aquele que definirá a potência total da transmissão.

Outros fatores que também devem ser observados são o da previsão da quantidade média de aparelhos presentes na rede, e a qualidade e potência da antena para a recepção do sinal. Caso estes fatores não sejam observados logo no planejamento de implementação de rede WLAN em um ambiente indoor, é possível a manifestação de problemas como, por exemplo, de problemas de segurança da rede WLAN, péssimas conexões de equipamentos na rede e falta de sinal em determinadas áreas dentro do ambiente onde se deseja a circulação do sinal.

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto é medir e analisar o desempenho da circulação de um sinal, por meio de comparações teórica e prática entre duas redes WLAN indoor, com a utilização de dois roteadores com diferentes potências de transmissão do sinal. Em seguida os dois roteadores terão suas antenas originais de fábrica substituídas por uma antena de 2.2. dBi e por um cabo irradiante de 2 metros de extensão. As medições serão registradas e comparadas para cada rede e, também, nas diferentes formas de instalação do cabo irradiante, ou seja, nas posições vertical e horizontal, que alteram a polaridade de circulação do sinal.

1.3.2 Objetivos Específicos

- i. Analisar a propagação do sinal das redes wireless, cujos roteadores tiveram suas antenas originais de fabrica substituídas pelo cabo irradiante;
- ii. Verificar a intensidade ou potência do sinal da rede *wireless* recebida pelo aparelho receptor, observando a sua distância da fonte de transmissão;
- iii. Modificar o posicionamento do cabo irradiante da horizontal para a vertical com o propósito de alterar a forma de propagação do sinal ou a polaridade do sinal e registrar as mudanças da intensidade do sinal captado pelo aparelho receptor em cada uma das posições pré-estabelecidas;
- iv. Comparar as medidas por pontos dentro do espaço indoor planejado para cada um dos roteadores e posição do cabo irradiante; e
- v. Determinar a configuração física da rede mais adequada ao espaço indoor plano onde o sinal vai circular.

1.4 Visão Geral

O ambiente de circulação do sinal será medido com fita métrica e desenhado em papel milimetrado, onde, por proporção, serão organizadas as medidas para mostrar os pontos onde realizar as medições das amostras do sinal. Tendo a base de papel milimetrado, será preparado um desenho no notebook com o aplicativo

auto CAD. O produto final oferece um estudo de medição do sinal de recepção para cada um dos cenários (roteador; antena de fábrica; cabo irradiante na vertical e na horizontal) e a constatação do melhor cenário de configuração de rede.

Os roteadores *wireless* serão configurados com a utilização de um notebook. Estes dois roteadores *wireless* serão configurados como duas redes distintas que funcionarão em diferentes tempos para a coleta das medidas amostrais do sinal, sendo que cada rede passara pelos mesmos procedimentos para análise do sinal. O cabo irradiante terá como suporte uma madeira, onde 5 braçadeiras simples U 1/2 polegada prenderão o cabo irradiante para mantê-lo reto e facilitar sua mobilidade. O cabo irradiante será conectado por um conector RMS reverso macho, nos roteadores.

Um notebook com o *software network Stumbler* e um adaptador wireless conectado a uma antena de 5 dBi irá receber o sinal e medir o nível de potência recebido do sinal. Os procedimentos do projeto serão realizados em 6 etapas cujo objetivo será comparar as amostras do sinal em cada rede, verificar a melhor configuração para uma melhor circulação do sinal no ambiente desejado.

A figura 1.1 abaixo ilustra o primeiro momento de configuração da rede, do notebook e o roteador com antena de 2.2 dBi. A figura 1.2, em seguida, ilustra a configuração de rede onde a antena original de fabrica do roteador é substituída pelo cabo irradiante.



Figura 1.1: Rede sem cabo irradiante
Fonte: DO AUTOR (2010)

A figura 1.2 ilustra a configuração de rede onde a antena original de fábrica do roteador é substituída pelo cabo irradiante de 2 metros.

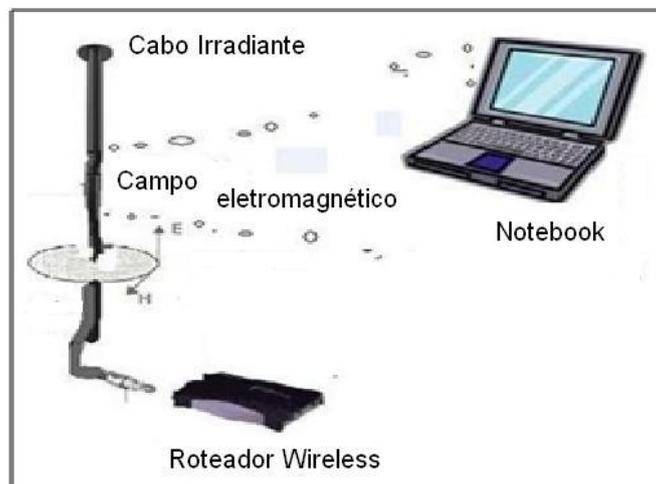


Figura 1.2: Rede com cabo irradiante
Fonte: DO AUTOR (2010)

1.4.1 Escopo do projeto

Com base em estudos sobre redes wireless e transmissão em cabos irradiantes, propor uma infra-estrutura de rede utilizando cabos irradiantes nas posições vertical e horizontal para verificar as diferenças de perda de potência de sinal em ambiente fechado.

Apresenta-se a seguir as especificações da preparação do ambiente de instalação e desenvolvimento de testes para a medição do sinal. Foram realizados os seguintes passos:

- i. Medição com uma fita métrica do ambiente onde se deseja circular o sinal e da marcação das distâncias em papel milimetrado.
- ii. Passagem da planta baixa do espaço *indoor* para o programa Auto CAD.
- iii. Montagem e configuração de rede wireless utilizando um roteador wireless e sua antena original de fábrica.
- iv. Medição do sinal RF nos diferentes pontos pré-estabelecidos fazendo uso de um notebook e um programa para medir a recepção do sinal.

- v. Montagem e configuração de rede wireless utilizando um roteador wireless e um cabo irradiante instalado na posição horizontal em relação ao solo.
- vi. Medição do sinal RF nos diferentes pontos pré-estabelecidos fazendo uso de um notebook e um programa para medir a recepção do sinal.
- vii. Modificar a posição da instalação do cabo irradiante para a vertical e realizar novas medições nos mesmos pontos pré-estabelecidos.
- viii. Trocar o roteador wireless por outro que possua, pelo menos, uma diferente propriedade física, e repetir os passos iii a vii realizando novas medições nos mesmos pontos pré-estabelecidos.

1.4.2 Restrições ao escopo

- i. Não tratará da modulação e demodulação do sinal;
- ii. Não tratará de interferências originárias do meio externo;
- iii. Não tratará dos problemas de segurança e autenticação e tão pouco das taxas de erros de comunicação de dados.

1.4.3 Resultados esperados

As redes WLAN serão montadas no interior do primeiro andar do bloco 7 do UniCEUB. As dimensões do andar e planta baixa do local onde serão realizadas as medições serão desenhados no aplicativo Autocad que esta instalado no notebook. A escolha do primeiro andar facilitará observar a distância em cada ponto de medição do sinal entre o transmissor do sinal e o receptor e as divisórias que dificultam a circulação do sinal, permitindo calcular, em teoria, a potência recebida pelo receptor em cada um dos pontos de medição.

Depois de finalizada a medição do local de circulação do sinal da rede WLAN, os roteadores serão configurados dentro de uma sala. Eles são a fonte de origem do sinal da rede WLAN. Suas antenas originais de fabrica serão substituídas pelo cabo irradiante.

Amostras do sinal de cada rede (cada roteador) serão realizadas pelo notebook com o software de medição em situações distintas. Para cada uma das redes haverá duas fases diferentes de medições em pontos distribuídos dentro do espaço planejado. A primeira fase de cada rede será medida com o cabo radiante instalado de forma horizontal em relação ao solo e a segunda fase de cada rede será medida com o cabo radiante instalado na forma vertical em relação ao solo. Isto ajudará a observar as diferentes perdas do sinal de recepção devido a diferente propagação dos campos eletromagnéticos criados pelas antenas na horizontal e vertical em relação ao solo.

Para realizar as medidas desta rede será utilizado um notebook, no qual está instalado o software "Netstumbler", que fará a medição dos sinais nos determinados pontos do espaço de circulação. A medida mais importante deste projeto é a potência recebida pelo receptor do sinal.

Os valores amostrais medidos na recepção do sinal nos pontos determinados serão comparados por pontos onde foram realizadas as medidas amostrais dentro do espaço planejado, onde foram realizadas medidas de cada rede e em cada fase, e também serão comparados com valores teóricos com métodos de raio para propagação em ambientes fechados (HAYKIN, MOHER, 2008, p.55). Isto ajudará a identificar a melhor rede e configuração e o melhor alcance para o ambiente planejado de circulação do sinal.

Para uma melhor recepção do sinal o receptor terá um adaptador para conectar a rede wireless e no adaptador será conectado uma antena receptora de 5 dBi.

Espera-se, inicialmente, uma melhor qualidade da circulação do sinal na vertical do que na horizontal devido à polaridade conter menos desperdício de sinal. Também é esperada uma variação significativa da potência do sinal já que a potência dos dois roteadores são, em teoria, de 18 dBm para 802.11g e de 26 dBm para 802.11b.

1.5 Estrutura do trabalho

Além deste capítulo introdutório, este trabalho tem em sua composição outros três capítulos assim descritos:

O capítulo 2 apresenta o problema a ser resolvido, ou seja, como deveria ser o posicionamento do cabo irradiante para um melhor aproveitamento de sua capacidade de espalhar melhor o sinal de transmissão por meio dos orifícios ao longo de sua extensão, na posição vertical, perpendicular ao solo, ou na horizontal, paralela ao solo.

No capítulo 3 é apresentado o referencial teórico. Inicialmente é apresentado o histórico da tecnologia adotada, informações e uso das redes wireless e, também, informações importantes sobre as antenas de recepção de sinal e cabo irradiante. Num segundo momento é apresentada a infraestrutura do projeto e o processo estabelecido para a realização das medições de sinal, incluindo as explicações sobre possíveis elementos desconhecidos sobre o hardware utilizado e da construção física do ambiente. Também são passadas informações importantes sobre os aspectos da tecnologia e sua forma de funcionamento e utilização.

O capítulo 4 aborda o desenvolvimento do projeto, a integração entre o software e o hardware, e da planilha de dados adotada para o registro das medições em cada um dos cenários.

No capítulo 5 são exibidos os resultados obtidos e as dificuldades encontradas.

A parte final consiste das conclusões sobre o projeto demonstrado e sugestões para trabalhos futuros utilizando a tecnologia wireless com cabos irradiantes.

CAPÍTULO 2 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A evolução dos dispositivos que utilizam a comunicação sem fio (*wireless*) apresentou uma penetração exponencial nas empresas de médio e pequeno porte como nas residências devido ao quesito custo, mas principalmente pelas melhorias na eficiência da transmissão de dados pelo ar em ambientes fechados, permitindo a substituição da transmissão de dados por meio de cabos pela transmissão sem fio pelo ar, sem perda de qualidade.

Nas redes locais sem fio (Wireless Local Area Network - WLAN), a potência do sinal de recepção se mostra inferior aquela originalmente transmitida devido a uma série de fatores, como, por exemplo, das variações no ambiente causadas por obstáculos como portas e paredes, assim como de interferências externas, na forma de outras ondas eletromagnéticas. Outro fator igualmente importante para esta perda de potência de sinal é a difusão do sinal de transmissão pelo roteador, que normalmente não pode ser direcionado especificamente para um ou mais determinados pontos de recepção.

Pode-se assim afirmar que nas redes locais *wireless* a potência de transmissão e de recepção de sinal indicam o nível de qualidade e confiabilidade da rede, e que a recepção deficiente de sinal se traduz, invariavelmente, com problemas de comunicação e conseqüente taxa de transferência baixa e tempo de resposta ruim. Deve-se também ressaltar que o uso comercial de redes locais *wireless* necessita considerar os fatores que atenuam ou causam interferências na potência do sinal de recepção, como portas, paredes e outras fontes de emissão eletromagnética.

Percebe-se que no mercado estão disponíveis os mais variados tipos de roteadores *wireless*, com potências e taxas de transmissão diversas, mas o problema relacionado com o alcance da transmissão ainda é o principal fator de preocupação, pois é comum a necessidade de sempre se ter de ampliá-lo, ou seja, de aumentar a distância física entre o transmissor e o receptor. Por via de regra, quanto maior a distância, menor a potência do sinal de recepção, indiferente da potência do sinal de transmissão.

Procurando superar os problemas causados pela perda de potência do sinal de recepção, são constantemente apresentadas ao mercado novas tecnologias e soluções, e entre elas, foi recentemente introduzido um novo tipo de cabo coaxial que funciona como uma antena: o cabo irradiante. Este cabo tem por característica a capacidade de conduzir o sinal de transmissão ao longo da sua extensão, irradiando-o por meio de orifícios nele espalhados, oferecendo maior preservação da potência do sinal de transmissão.

Em obediência a lei que rege os campos elétricos, deve-se considerar as variáveis de intensidade, direção e sentido, portanto, o posicionamento do cabo irradiante influencia a polarização das ondas eletromagnéticas que transmite, ou seja, elas se comportam de formas distintas quando o cabo é posicionado ou na vertical ou na horizontal. O posicionamento do cabo na vertical proporciona o espalhamento do sinal na direção horizontal e o posicionamento do cabo na posição horizontal proporciona o espalhamento do sinal na direção vertical. (MEDEIROS, 2007)

Ao oferecer às empresas a possibilidade de ampliar o alcance de suas redes locais por meio da preservação da qualidade da potência do sinal de recepção, essa **nova tecnologia se apresenta como potencial candidata** para a implementação de novas redes, assim como na atualização/manutenção das já existentes. Esse potencial de ampliação do alcance das redes locais wireless **divulgado e patrocinado pelos promotores dessa nova tecnologia justifica a importância deste trabalho de pesquisa.**

Este trabalho procurou por meio de uma pesquisa bibliográfica e de um trabalho de campo analisar se a tecnologia do cabo irradiante em redes locais wireless pode ser considerada como uma alternativa viável para a infraestrutura de redes locais em ambiente interno (*indoor*). Para fazer tal comprovação, foi necessário montar e configurar uma rede local wireless cujo ponto de transmissão contemplou tanto o uso da antena original de fábrica quanto o cabo irradiante como fonte de origem de transmissão, assim como as fontes de atenuação, para realizar a medição final da potência do sinal de recepção.

Da montagem deste cenário, e da aceitação da hipótese que o cabo irradiante oferece um melhor desempenho do que as antenas isotrópicas, surgiu o

seguinte questionamento: Como deveria ser o posicionamento do cabo irradiante para um melhor aproveitamento de sua capacidade de espalhar melhor o sinal de transmissão por meio dos orifícios ao longo de sua extensão, na posição vertical, perpendicular ao solo, ou na horizontal, paralela ao solo. Esta é a pergunta que este trabalho procurou responder.

Deve-se ressaltar, também, que por motivo de falta de maiores recursos, não foi possível instalar o cabo irradiante no teto da sala, que seguramente promoveria um melhor desempenho do cabo irradiante na posição horizontal em comparação com o solo.

3 REDES LOCAIS SEM FIO DE CURTO ALCANCE

3.1-Transmissões em redes *wireless* de curto alcance

No início da década de 2010, a tomada de decisão pela escolha da melhor configuração de rede *WLAN* para ambientes *indoor* não é tão trivial, uma vez que são muitas as variáveis a considerar, como, por exemplo, distância, ambiente, obstáculos físicos, segurança, desempenho e custos. Ao se abordar a escolha em termos do desempenho, está sempre presente a preocupação com a quantidade e qualidade do sinal de recepção, os quais estão diretamente associados com alcance e a velocidade do sinal.

As redes *wireless* são dependentes das configurações físicas e lógicas, com preocupação especial com a área de cobertura do sinal. Desta forma não se pode negligenciar os também do alcance a ser considerado. Não sendo possível negligenciar estes fatores, são necessárias e relevantes as comparações das potências de recepção de sinal entre diferentes configurações de rede na forma de medidas amostrais, para realizar, assim, uma melhor análise entre as diferentes configurações e respectivas linhas de abordagem, para apoiar a escolha mais adequada. (MORIMOTO, 2009; ROSS, 2009)

Diante de tais ponderações, pode-se levantar a seguinte questão: Qual configuração de rede faz o sinal chegar mais longe com melhor qualidade?

A pesquisa prática (ou projeto) aqui realizada procurou, basicamente, analisar o sinal de recepção em redes *wireless* com base na teoria das redes *WLAN*, utilizando roteadores com padrões 802.11 com suas antenas de fábrica e, também, um cabo irradiante na mesma função das antenas. Deve-se ressaltar, também, que este trabalho não apresenta preocupações com detalhes de segurança e outras interferências que estão além deste pesquisador, ficando em segundo plano devido a preocupação primeira é com a medição da qualidade de potência do sinal de recepção.

Para a melhor compreensão do funcionamento das redes *WLAN*, faz-se necessário uma breve apresentação do Modelo “Open System Interconnection (OSI)” e da sua proposta de comunicação de dados em obediência à “International

Organization for Standardization (ISO)”, além da arquitetura específica para redes *wireless*.

3.2-Modelo OSI (*Open Systems Interconnection*)

Todo e qualquer envio de mensagem ou informação para uma rede qualquer está dividido em pequenas partes elementares de alguns bits de tamanho. Estas partes elementares são conhecidas ou referenciadas como “pacotes” ou “frames”. A sua montagem final é realizada no receptor para o entendimento inteligente e conseqüente interpretação das informações de forma legível. Para que esses pacotes circulem em uma rede, é essencial que todos os componentes desta rede (como por exemplo computadores transmissores, roteadores transmissores e computadores receptores) utilizem a mesma especificação, formatação, sincronização e protocolos de roteamento. (COMER, 2001; MORIMOTO, 2009)

O modelo mais interessante para este trabalho é o modelo *OSI (Open Systems Interconnection)*, criado pela *ISO (Internatioanl Organizaton for Standardization)*.

Este modelo, que pode ser observado a seguir na Figura 3.1, está separado em Camadas, organizando os elementos individuais de aplicações, conexões e transferência de dados nas redes, aplicando-se em todo tipo de comunicação de dados. Isto permite encorajar os profissionais que trabalham com *hardware* ou *software* a criarem sistemas e serviços que possam trocar informação com produtos parecidos de outros fabricantes. Uma vantagem a ser ressaltada neste modelo é a possibilidade de alterar os sistemas criados por profissionais de *hardware* e *software*, sem que seja necessário alterar toda a estrutura da rede. (ROSS, 2009)



Figura 3.1 – Modelo OSI

Fonte: OSI - ISO (2010)¹

O modelo *OSI* verifica as três partes da rede consideradas essenciais para o tráfego de dados: rede, transporte de dados e aplicação. Tanto a parte de rede quanto da aplicação são subdivididas em três Camadas. A parte responsável pelo transporte de dados não tem subdivisão. (ROSS, 2009)

A parte de Rede se preocupa com as especificações básicas e gerais de *hardware* de rede para realizar a transmissão e recepção dos frames ou pacotes; a organização dos frames ou pacotes de forma que estes cheguem corretamente ao receptor de destino; e reunir todos os pacotes de frames que compõem a mesma mensagem de forma legível para o usuário final. Suas subdivisões são: Camada Física, Camada de Enlace e Camada de Rede. (ROSS, 2009)

A Camada Física corresponde às Camadas de *Hardware* de rede básicas como, por exemplo, as especificações detalhadas do *hardware que constitui* uma *WLAN*. A Camada de Enlace contém as especificações de como organizar os dados em frames ou pacotes e, também, de como transmiti-los através de uma rede. A Camada de Rede especifica como são atribuídos os endereços e como os pacotes são encaminhados de uma ponta de rede para outra. (COMER, 2001; ROSS, 2009)

A parte de Transporte, que não apresenta subdivisões, especifica de forma detalhada as transferências de pacote de forma confiável. (COMER, 2001; ROSS, 2009)

¹ <http://everson.com.br/Modelo-OSIISO>. Acesso em 12 mai 2010

A parte de Aplicação se preocupa com a programação virtual visando garantir a segurança de uma conexão de rede, a representação dos dados para usuários finais e o funcionamento dos aplicativos dentro do escopo da rede. Suas subdivisões são: Camada de Sessão, Camada de Apresentação e Camada de Aplicação. (COMER, 2001; ROSS, 2009)

A Camada de Sessão especifica as conexões remotas de rede com o propósito de obter maior segurança. A Camada de Apresentação especifica como representar dados, como, por exemplo, as letras do alfabeto grego ou árabe. Quando os pontos de origem e de destino utilizam códigos de página diferentes, se faz necessário traduzir tais representações de modo tal que se mantenha a integridade da mensagem. (COMER, 2001; ROSS, 2009)

A Camada de Aplicação especifica como um aplicativo utiliza uma rede. Por exemplo: as formas ou regras para um aplicativo que transfere arquivos de um computador para outro. (COMER, 2001; ROSS, 2009)

Das Camadas acima apresentadas, são mais sensíveis, para os propósitos deste trabalho, a Camada Física porque nela estão representados os transmissores, receptores e as antenas e a Camada de Transporte por tratar da propagação do sinal no ar. O uso da tecnologia IEEE 802.11 e extensões mostrou-se a mais recomendada para as necessidades anteriormente apresentadas.

3.2.1 Normas IEEE 802.11

A tecnologia IEEE 802.11 é tida como norma original e tem servido de modelo para outros protocolos que operam na faixa de frequência dos 2,4GHz. Para o interesse do trabalho, a tecnologia além de definir normas para a Camada Física, igualmente determina as especificações da Camada de Controle de Acesso ao Meio, ou MAC. Esta camada está normalmente presente nas normas desenvolvidas pela IEEE para Redes Wireless, para bandas de rádio e infravermelho entre as faixas de 2,4GHz e 5GHz. (MORIMOTO, 2009)

Compreende-se, assim, que o protocolo IEEE 802.11 define a forma de utilização dos dois níveis inferiores da arquitetura OSI, das Camadas Física e de Enlace, enumerando suas regras de funcionamento numa Rede Wireless.

As redes que utilizam o protocolo IEEE 802.11 e extensões operam no modo Half-Duplex, ou seja, do uso de aparelhos capazes de transmitir e receber informações (um transmissor e um receptor) de forma bidirecional, porém, não simultânea.

A Camada de Fluxo de Dados de Enlace (*Data Link Layer*) possui uma sub-camada denominada Sub-camada Lógica de Dados de Enlace (*Logical Link Control*), para lidar com os serviços de conexão e recuperação de erros. Esta sub-camada, sob a especificação OSI, desempenha 3 tipos de serviços:

- i. Serviço sem conexão e sem reconhecimento (UDP, IP e IPX);
- ii. Serviço com conexão (TCP e X-25);
- iii. Serviço sem conexão e com reconhecimento (Circuitos virtuais, *Frame Relay*, ATM e PPP).

A implementação de suas funções sob a especificação OSI depende basicamente do tipo de serviço a realizar. Por exemplo, quando se trata de um serviço sem conexão e que não estabelece reconhecimento, as funções relativas ao controle de frequência e controle de fluxo e da recuperação de erros não necessitam ser implementados.

Sob a especificação IEEE 802.11, é a Sub-camada Lógica de Dados de Enlace que realiza o controle de fluxo, ou seja, estabelece se o transmissor está enviando mais quadros do que o receptor pode receber. Sobre o controle de erros, existe um mecanismo de controle embutido tanto no algoritmo do bit alternado quanto nas janelas com retransmissão, aqui na forma de quadros especiais e janelas de transmissão e recepção.

Sub-camada Lógica de Dados de Enlace desempenha 3 tipos de serviço:

- i. Conexão não confiável – sem conexão e sem reconhecimento;
- ii. Conexão de baixa confiabilidade - sem conexão e com reconhecimento; e
- iii. Conexão confiável - orientado à conexão.

Em relação ao controle de acesso, essa atribuição fica sob os encargos da outra sub-camada, denominada Controle de Acesso ao Meio (*Medium Access Control* – MAC).

A figura 3.2 abaixo proporciona uma melhor visualização dos fundamentos em comum entre as especificações OSI e IEEE 802.11 quanto à A Camada de Fluxo de Dados de Enlace (*Data Link Layer*), em especial, da Sub-camada Lógica de Dados de Enlace (*Logical Link Control*).

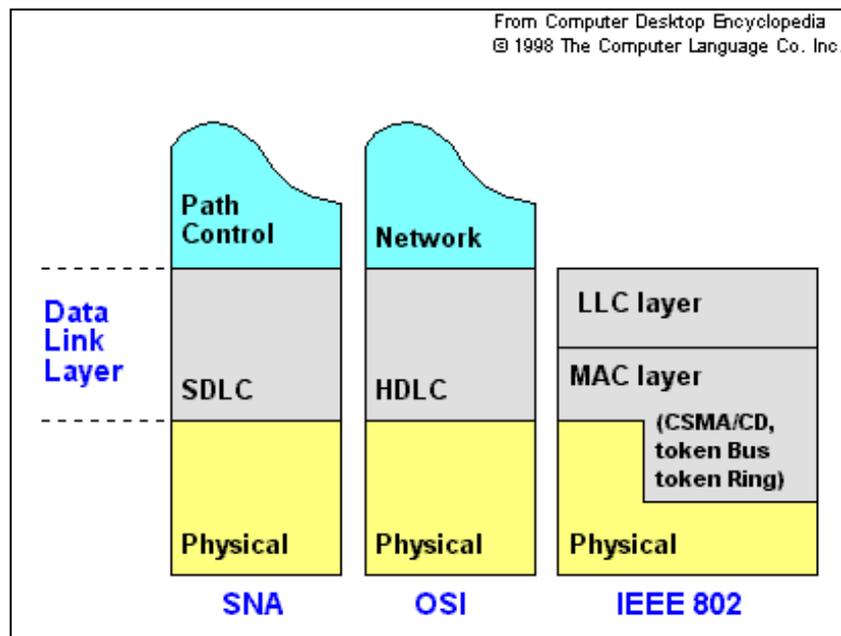


Figura 3.2: Camada de Fluxo de Dados de Enlace

Fonte: Computer Desktop Encyclopedia (1998)

A Figura 4 a seguir apresenta-se uma visão geral da estrutura da Sub-camada Lógica de Dados de Enlace segundo o protocolo IEEE 802.11.

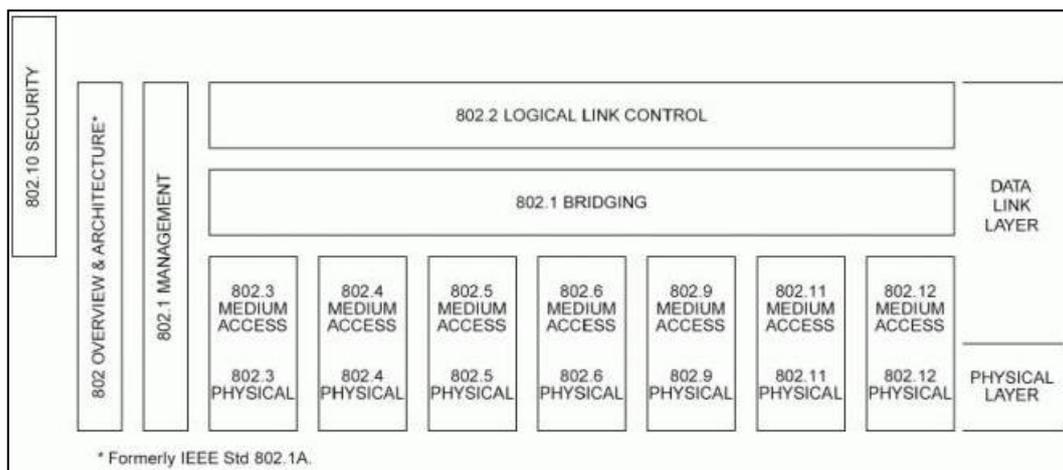


Figura 3.3: Pilha do protocolo IEEE 802.11

Fonte: Escola Politécnica UFRJ (2010)

Para os interesses deste trabalho, são apresentados alguns detalhes básicos referentes às extensões a, b e g. (MORIMOTO, 2009)

- a) IEEE 802.11a – Criado para operar na faixa dos 5GHz, com frequências de dados de até 54Mbit/s. Utiliza o método de codificação multiportadora conhecido como OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).
- b) IEEE 802.11b – É a extensão responsável pela popularização do uso das Redes Wireless, principalmente nas áreas comerciais. Estendeu a frequência de dados original de 2Mbit/s para até 11Mbit/s, operando na frequência de 2,4GHz.
- c) IEEE 802.11g – A extensão 802.11g objetivou, essencialmente, a criação de uma extensão de maior frequência de dados à camada física da norma IEEE 802.11b, mantendo compatibilidade com a mesma e com os equipamentos já em funcionamento. O objetivo foi de alcançar os 54Mbit/s.

3.3-Sistema de comunicação

O sistema de comunicação é o conjunto de equipamentos e materiais, elétricos e eletrônicos, necessários para compor um esquema físico para estabelecer enlace de comunicações em pelo menos dois pontos distantes. Os detalhes de operação de sistemas de comunicações no transmissor e no receptor dependem do tipo de sistema utilizado, podendo ser analógico e digital. (HAYKIN; VAN VEEN, 2001)

Podemos classificar o uso dos diferentes tipos de sistemas de comunicação como comercial, governamental, privado, amador, experimental e de pesquisa.

Com o intuito de projetar sistemas de comunicações de ótimo desempenho, seu planejamento deve ser realizado de forma metódica e com total atenção para os detalhes para garantir uma eficiência correta nos enlaces e uma contínua comunicação dentro do sistema aumentando, assim, a sua confiabilidade. Igualmente deve-se verificar cuidadosamente a relação sinal/ruído e distorção do

sinal original para satisfazer as expectativas dos seus assinantes, usuários ou correspondentes por meio da manutenção da qualidade do sinal.

Deve-se dificultar, também, o entendimento das mensagens porventura captadas por elementos estranhos ao sistema e prevenir possíveis interferências, eventuais ou propositais, particularmente nas comunicações de rádio, possibilitando, desta forma, segurança máxima aos assinantes, usuários ou correspondentes.

Recomenda-se, também, utilizar equipamentos que possuam os menores retardos possíveis de transmissão e recepção, para melhorar o tempo de resposta ou velocidade total da rede de transmissão ou tempo de resposta, ou seja, o tempo total que a mensagem leva para ser transmitida para um receptor, e que este retransmite de volta a resposta de recepção correta da mensagem para o transmissor, garantindo, assim maior flexibilidade, disponibilizando enlaces com outros sistemas, de acordo com as necessidades dos assinantes, usuários ou correspondentes, como o compartilhamento de sons, voz, vídeos ou dados. (HAYKIN; VAN VEEN, 2001)

O projeto também deve verificar o alcance do sinal na área desejada, o qual é dependente da potência, dos ganhos e das perdas que os equipamentos constituintes das redes fornecem. Estes equipamentos podem ser classificados como Local (quando é de curto alcance), Regional (quando abrange uma região do país), Nacional (quando abrange todo país) e Internacional (quando ultrapassa as fronteiras do país).

As redes *wireless* são sistemas de comunicações, onde a mensagem (podendo ser de dados ou voz, ou sons, ou imagem) trafegam no ar, em forma de onda eletromagnética, do transmissor para um ou mais receptores. (MORIMOTO, 2009)

No sistema de comunicação realizado neste trabalho é classificado como um sistema de radio experimental, por ser basicamente um estudo do sinal de transmissão em redes *wireless* e focando o experimento em redes *WLAN* com roteadores com padrões 802.11 que utiliza um cabo irradiante como antena, o qual será dito mais a frente neste trabalho. Também neste trabalho não entra em muitos detalhes de segurança, portanto é possível identificar interferências externas no sinal.

3.3.1- Sistema de comunicação analógico

Esse tipo de sistema de comunicação é bastante comum, e também é uma base para o entendimento do sistema de comunicação analógico. Nele, para que haja comunicação entre dois ou mais pontos, é essencial a efetivação de uma série de processos. (HAYKIN; VAN VEEN, 2001)

A figura 3.4 abaixo representa cada processo básico realizado por um sistema de comunicação.

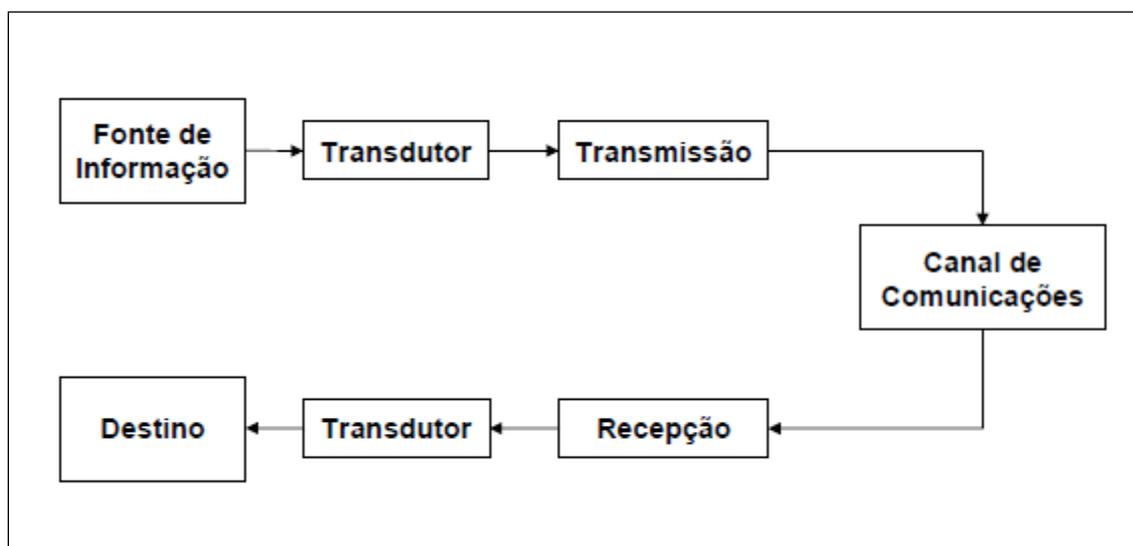


Figura 3.4 – Componentes do Sistema de comunicação analógico.

Fonte: HAYKIN, VAN VEEN (2001). Adaptado pelo autor.

Os três primeiros itens da figura 3.4 acima correspondem ao primeiro estágio da transmissão da mensagem. Uma vez iniciado este estágio, deve-se necessariamente gerar uma mensagem, a qual pode ser de dados, voz, sons ou imagem, representado pela fonte de informação. Em seguida tem-se o Transdutor, responsável pela conversão de uma forma de energia para outra, de modo a possibilitar o transporte do sinal no canal de comunicação. O Transmissor é a parte do circuito interno que fornece a potência necessária ao sinal elétrico para que este possa percorrer e chegar ao seu destino, no caso, ao aparelho receptor. (HAYKIN; VAN VEER, 2001)

O segundo estágio é tido como um estágio intermediário entre a primeira e a terceira fase. Ele está representado pelo canal de comunicação, cuja função é de transmitir o sinal para pelo menos um receptor. (HAYKIN; VAN VEER, 2001)

O terceiro estágio é o de recepção. Nele ocorre a recepção do sinal e o consequente resposta ou retorno, ou seja, da realização dos mesmos processos em ordem inversa do primeiro estágio. O receptor é o circuito interno que recebe os sinais e o direciona ao transdutor da recepção, o qual converte a sinal para o formato inicial da mensagem e gera uma réplica da mensagem original encaminhado para o destino final. O Destino é o quem a mensagem é destinada. (HAYKIN; VAN VEER, 2001)

3.3.2 - Sistema de comunicação digital

O que caracteriza um sistema de comunicação digital são as suas ondas ou sinais. Neste sistema as ondas ou sinais são moduladas num formato padrão quantitativo que permite alterar a amplitude da onda, da fase e/ou da frequência. Este sistema, diferentemente do analógico, se caracteriza por proporcionar valores discretos de onda. O sistema de comunicação será considerado digital caso os principais equipamentos da rede que o configure trabalhem com sinais digitais. (HAYKIN; VAN VEER, 2001)

As linguagens da unidade de processamento de computadores reconhecem apenas dois estados de informação: a presença do sinal e a ausência do sinal na entrada do processador.

Estes dois estados de informação são geralmente descritos como 1 ou 0 conhecido como bases binárias. E cada presença ou ausência de informação (ou 1 ou 0) é a menor unidade de uma informação conhecidos como bits. É claro que para gerar uma informação não depende apenas de 1 bit, mas de uma seqüência e combinações bits. A unidade referencial bem conhecida na informática é chamado de bytes, o qual equivale 8 bits que pode representar um símbolo visual. (HAYKIN; VAN VEER, 2001)

Para uma melhor visualização do conceito, pode-se fazer uma analogia com uma caixa papelão dividida em 8 espaços com divisórias de papelão e 8 bolas para

serem colocadas nos espaços. Em cada espaço da caixa cabe apenas uma bolinha, mas só é possível criar combinações, onde cada combinação representará um símbolo ou um código, se consideramos a presença das bolinhas em cada espaço. Assim, como em cada espaço da caixa pode ocorrer duas situações diferentes, é possível criar 2^8 ou 256 combinações, onde cada pode representar um símbolo ou um código. Este é apenas um exemplo de um sinal digital. Outros sinais de maior complexidade são processados no interior dos computadores, que associa as varias combinações dos sinais nos devidos tempos ou frequência de sinal. Estes sinais, na forma de bits, também podem ser trabalhados nos sistemas de comunicações digitais de forma a organizar a mensagem para garantir sua chegada com qualidade e desempenho ótimo em um ou mais receptores. (HAYKIN; VAN VEER, 2001)

No sistema de comunicação digital pode-se contemplar duas situações. A primeira situação se exemplifica pela presença de um sinal analógico (como voz e vídeo) que precisa ser convertido num sinal digital, e a segunda situação, quando o sinal de origem já é digital.

Quando existe a necessidade de converter um sinal analógico para digital, faz-se necessário apresentar a definição de três termos correlatos a tal conversão. São eles: amostragem, quantização e codificação. (HAYKIN; VAN VEER, 2001)

A amostragem é a conversão de sinal em uma seqüência de números, onde cada número representa a amplitude do sinal da mensagem em um instante de tempo particular.

A quantização trata da representação de cada número produzido pela amostragem no nível mais próximo escolhido dentre um número finito de níveis. Por exemplo: Cada amostra pode ser representada com um número binário de 16 bits, ou seja, um valor que possui 2^{16} níveis de amplitude. Depois da combinação da amostragem e da quantização, obtêm-se uma representação do sinal da mensagem dita discreta tanto no termo de tempo ou amplitude. (HAYKIN; VAN VEER, 2001)

A codificação tem por propósito representar cada uma das amostra de forma quantizada por meio de uma palavra de código composta de um número finito de símbolos. Por exemplo: os códigos binários, uns e zeros.

Quando o sinal já é transmitido em formato digital para dispositivos que trabalham com sinal digital, não se faz necessário nenhum tipo de conversão. (HEYKIN; VAN VEER, 2001)

3.4-Ondas Eletromagnéticas

Existem vários tipos de ondas eletromagnéticas como, por exemplo, ondas luminosas, ondas de radio, raios X, raios gamas e microondas. A diferença entre estes diferentes tipos de ondas está apenas no comprimento da onda e na frequência. (TIPLER, 2000)

Conforme anteriormente referenciado, a diferença entre os vários tipos de ondas eletromagnéticas está contido apenas no comprimento da onda e na frequência, cujo produto é igual a velocidade, conforme foi observado na equação 3.1. O termo espectro magnético é utilizado para designar as várias faixas de frequências e comprimentos de ondas. Teoricamente é possível produzir ondas eletromagnéticas com qualquer comprimento de onda e com qualquer frequência, por tanto, o espectro eletromagnético pode ser considerado como infinito.(TIPLER, 2000; MEDEIROS, 2006)

O projeto em questão, da medição de perda de sinal quando do uso do cabo irradiante, utilizará roteadores que operam na faixa de Frequência: 2.400 a 2.483 GHz, ou seja, de $2,4 \cdot 10^9$ a $2,483 \cdot 10^9$. Na Figura 3.5 abaixo estão representadas as faixas de frequência de diferentes tipos de ondas.

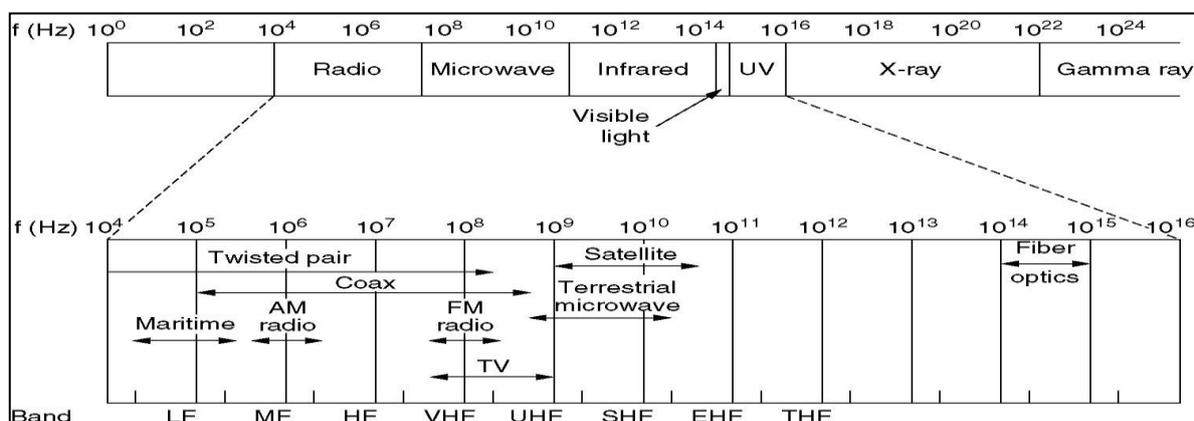


Figura 3.5 – O espectro de frequências

Fonte: KUROSE; ROSS (2004)

O estudo da onda eletromagnética relaciona campos elétricos e campos magnéticos a suas fontes, que podem ser cargas elétricas, correntes ou campos variáveis. Estes campos são calculados por meio da matemática vetorial no espaço tridimensional, que deram origem as equações de James Clerk Maxwell, um grande físico escocês. O papel que as equações de Maxwell desempenham no eletromagnetismo clássico é análogo as leis de Newton na mecânica clássica. (ROSS, 2009)

Qualquer problema no âmbito da eletricidade e do magnetismo pode ser resolvido por meio das equações de Maxwell, assim como qualquer problema de mecânica clássica pode ser resolvido por meio das leis de Newton. Comparando as equações de Maxwell com as leis de Newton, percebe-se que as equações de Maxwell são bem mais complexas do que as leis de Newton. A aplicação das equações de Maxwell na maioria dos problemas práticos envolve uma matemática muito sofisticada, sendo, por este motivo, consideradas importantes no ponto de vista conceitual. (TIPLER, 2000)

Na natureza da onda eletromagnética e o seu mecanismo de propagação dependem de uma corrente contínua, com uma intensidade quantizada, fluindo em um condutor elétrico. Esta corrente faz surgir ao redor do condutor um campo magnético com intensidade proporcional à da corrente e polarizado de acordo com o sentido da corrente. Como pode ser observado na Figura 5 abaixo, a corrente circula no condutor elétrico e gera um campo magnético ortogonal (de ângulo de 90° graus) ao circuito e a corrente elétrica. (ROSS, 2009)

Definindo a corrente elétrica em uma linguagem mais simples, trata-se de uma certa quantidade de ondas, estacionárias (parada) ou dinâmicas (em movimento). Para que essas ondas possam fluir em um circuito elétrico de um transmissor, é necessário que o dispositivo elétrico impulse uma certa quantidade de ondas através de uma força realizada pelo dispositivo elétrico. Este impulso é uma força denominada tensão, uma propriedade significativa nos circuitos elétricos contidas nos dispositivos elétricos. Outro fator importante é a potência ou energia, a qual depende da tensão realizada numa certa quantidade de ondas e da

tensão realizada nas ondas. A potência é a quantidade de ondas que um circuito elétrico é capaz de receber em cada instante. (TIPLER, 2000; ROSS, 2009)

No escopo dos objetivos deste trabalho, os sinais das redes *wireless* são ondas de rádio que se propagam um determinado espaço particular.

3.4.1- Ondas de Radio ou radiação eletromagnética e o mecanismo de propagação

Como dito antes, as ondas de radio são campos eletromagnéticos de alta frequência, não audíveis e não visíveis pelo homem. A Figura 3.6 abaixo explica, de forma visual, os propósitos práticos das equações de Maxwell quanto à propagação de ondas de rádio ou radiação eletromagnética.

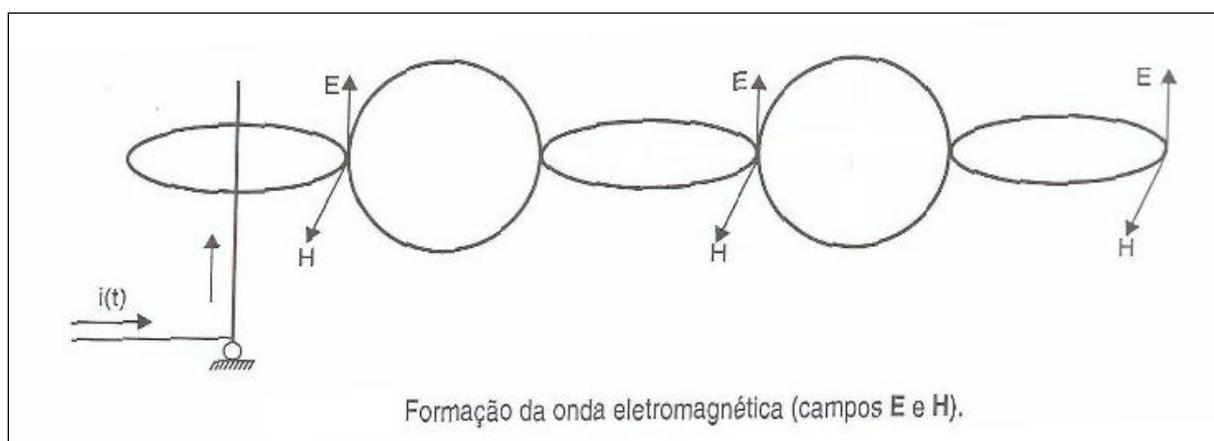


Figura 3.6 – Formação da onda eletromagnética.

Fonte: MEDEIROS (2006)

Medeiros (2006, p.105) assim explica o processo responsável pela geração das ondas eletromagnéticas, observado na Figura 3.5 acima.

Na mesma frequência da corrente senoidal, o campo eletromagnético **H** aparece, se extingue e reaparece com a polaridade trocada, acompanhando as mesmas variações da corrente **i (t)**, em seus semiciclos positivos e negativos, respectivamente. Em consequência dessas variações, em plano ortogonal ao campo **H**, surge um campo elétrico **E**, com as mesmas características: varia no tempo, em intensidade e polaridade. (...) O campo **E**, de modo semelhante ao campo **H**, também pode ser representado por linhas. (...) Das variações de **E**, também em intensidade e polaridade, cada linha representativa do campo elétrico gera uma linha de campo magnético **H**, em planos ortogonais. Daí, um campo magnético gera outro campo elétrico e assim sucessivamente. **Agora sim, tem-se uma onda irradiante.**

A onda irradiante é o produto da alternância de produção de campos elétricos e magnéticos em relação ao tempo.

Na transmissão e recepção de ondas de rádio é necessário que haja um rádio transmissor e um rádio receptor, assim como antenas transmissora e receptora. O rádio transmissor é um aparelho gerador de corrente alternada, a qual alimentará a antena transmissora, onde corrente alternada será convertida em ondas de rádio ou irradiação eletromagnética que irão se propagar pelo ar. As ondas de rádio ou irradiação eletromagnética serão captadas pela antena receptora, a qual converterá as ondas para corrente alternada que será enviada para o rádio receptor. O rádio receptor vai interpretar esta corrente e criar uma estimativa da mensagem original, como pode ser observado na Figura 3.7 a seguir.

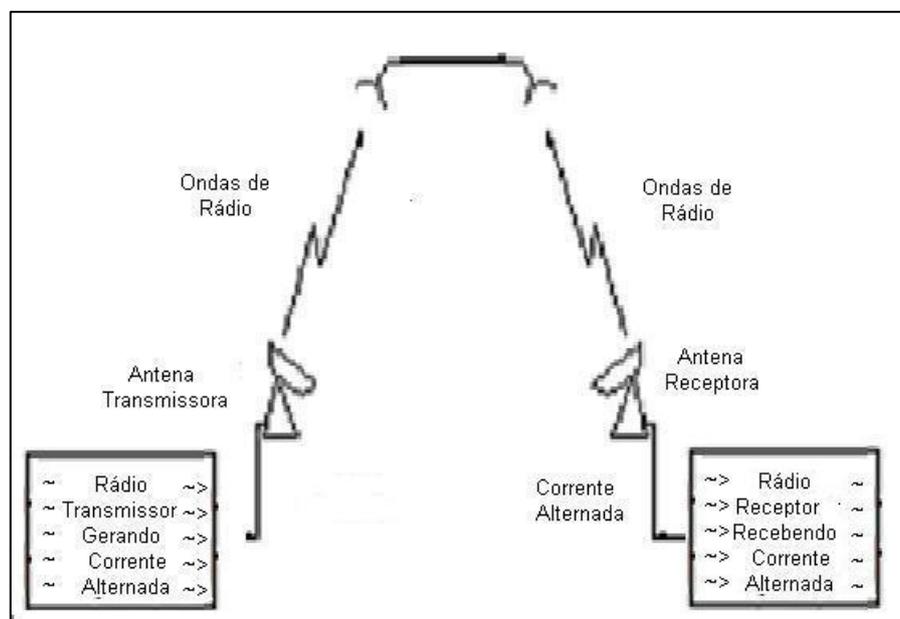


Figura 3.7 – Processo de transmissão e recepção de uma onda de rádio.

Fonte: DO AUTOR (2010)

3.4.2 Velocidade de Propagação e comprimento de onda

As ondas de rádio se propagam no espaço livre com a velocidade da luz no vácuo, aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/s. O comprimento da onda é o resultado da relação entre a velocidade da luz no vácuo e a frequência da onda. (TIPLER, 2000)

Assim

$$\lambda = \frac{V_c}{f} \quad [3.1]$$

onde

$\lambda \rightarrow$ é o comprimento em metros (m).

$f \rightarrow$ Frequência medida em Hz.

$V_c \rightarrow$ Velocidade da luz no vácuo (m/s).

3.5 Unidades de medidas

Em sistemas de telecomunicações são utilizadas escalas logarítmicas para medir relações entre potências de sinais elétricos em virtude das grandes variações existentes entre os mesmos. As vantagens de utilizar escalas logarítmicas é uma permissão de interpretação mais fácil das medidas de potências, assim como da permissão de escalas com mais espaços ou intervalos. Para facilitar os cálculos, pode-se também calcular as tensões de entrada e de saída, já que a tensão está diretamente relacionada à potência do sinal. (SILVEIRA, 1991; MORIMOTO, 2009)

Um circuito elétrico qualquer pode representar uma atenuação, ou um ganho do sinal. A atenuação significa que a potência do sinal de entrada é maior do que a potência do sinal de saída; o ganho significa que a potência do sinal de entrada é menor do que a potência do sinal de saída.

3.5.1 Bell (B)

O Bell (B) é uma relação logarítmica entre as potências de um sinal de entrada e a potência de um sinal de saída, podendo, também, relacionar tensão de entrada e tensão de saída. As formulas abaixo representam um circuito onde se recebe, na entrada, uma corrente com uma determinada potência, a qual vai sair no final do circuito com uma potência superior ou inferior em relação a potência de entrada. Observe que o ganho ou a perda depende da maior potência entre a saída e a entrada. (SILVEIRA, 1991)

$$GANHO(BELL) = LOG \frac{POTÊNCIA DE SAÍDA}{POTÊNCIA DE ENTRADA} \quad [3.2]$$

e

$$PERDA OU ATENUAÇÃO(BELL) = LOG \frac{POTÊNCIA DE ENTRADA}{POTÊNCIA DE SAÍDA} \quad [3.3]$$

3.5.2 Decibel (dB)

O Decibel (dB) é a sub-unidade utilizada na prática para cálculos de engenharia, para permitir operações com valores de diferentes origens. Como exemplo, o Decibel se assemelha ao mínimo múltiplo comum (m.m.c) utilizado em contas de frações com diferentes denominadores. O decibel equivale à 1/10 do Bell, sendo, então, obtido pela equação logarítmica na base 10. Trabalhando com a unidade de medida decibel, pode-se verificar todas as propriedades relacionadas com o ganho e perda da potência como, por exemplo, nas relações entre tensões, nos ganhos das antenas, atenuações e etc. As fórmulas abaixo permitem o cálculo da perda e do ganho em Decibel. (SILVEIRA, 1991)

$$GANHO(dB) = 10 \cdot LOG \frac{POTÊNCIA DE SAÍDA}{POTÊNCIA DE ENTRADA} \quad [3.4]$$

e

$$PERDA OU ATENUAÇÃO(dB) = 10 \cdot LOG \frac{POTÊNCIA DE ENTRADA}{POTÊNCIA DE SAÍDA} \quad [3.5]$$

3.5.3 Cálculos de potência em *decibel watts (dBW)*, *decibel milliwatts (dBm)* e *decibel microwatts (dBμ)*

Para a conversão de resultados expressos em *Watts (W)* em *decibel watts (dBW)*, *milliwatts (mW)*, *decibel milliwatts (dBm)* e uso correto, necessita-se saber algumas regras básicas de conversão: (SILVEIRA, 1991)

-1ª regra- Soma-se e subtraem-se *decibel (dB)* com *decibel watts (dBW)*, *decibel milliwatts (dBm)* e *decibel microwatts (dBμ)*.

-2ª regra- Não se somam e nem subtraem *decibel watts (dBW)* com *decibel watts (dBW)*, *decibel milliwatts (dBm)* com *decibel milliwatts (dBm)* e *decibel microwatts (dBμ)* com *decibel microwatts (dBμ)*.

-3ª regra- A diferença entre dois valores em *decibel watts (dBW)*, ou dois valores em *decibel milliwatts (dBm)*, ou dois valores em *decibel microwatts (dBμ)*, é expresso em *decibel (dB)*.

Em redes *wireless* a potência total da transmissão é medida em *milliwatts (dBm)*.

Para converter *decibel watts (dBW)* em *decibel milliwatts (dBm)*, soma-se o valor em *decibel watts (dBW)* com 30; para converter *decibel watts (dBW)* em *decibel microwatts (dBμ)*, soma-se o valor em *decibel watts (dBW)* com 60; Para converter *decibel milliwatts (dBm)* em *decibel watts (dBW)*, subtrai-se o valor em *decibel watts (dBW)* com 30; para converter *decibel watts (dBW)* em *decibel microwatts (dBμ)*, subtrai-se o valor em *decibel watts (dBW)* com 60. (MORIMOTO, 2009)

3.5.4 Calculando a potência de transmissão e recepção em redes *Wireless*

A potência total da transmissão é medida em *decibel milliwatts (dBm)* e o ganho da antena é medido em *decibel isotrópico (dBi)*. Para medir a potência e o ganho da antena é utilizado o decibel, mas o parâmetro de comparação é diferente. Por isso são utilizadas duas siglas diferentes.

Na potência de transmissão é utilizado um sinal de 1 *milliwatts (mW)* como padrão de comparação. Observe no Quadro 1 abaixo que 1 *milliwatts (mW)* equivale a 0 *decibel milliwatts (dBm)* e, a parti daí, cada vez que dobrar a potência, aumenta-se 3 *decibel milliwatts (dBm)*.

Quadro 3.1: Conversão de potência de *milliwatts* para *dBm*

0 <i>dBm</i> = 1 <i>milliwatts</i>
3 <i>dBm</i> = 2 <i>milliwatts</i>
6 <i>dBm</i> = 4 <i>milliwatts</i>
9 <i>dBm</i> = 7.9 <i>milliwatts</i>
12 <i>dBm</i> = 15.8 <i>milliwatts</i>
15 <i>dBm</i> = 31.6 <i>milliwatts</i>
18 <i>dBm</i> = 61.1 <i>milliwatts</i>
21 <i>dBm</i> = 125.9 <i>milliwatts</i>
24 <i>dBm</i> = 251.2 <i>milliwatts</i>
27 <i>dBm</i> = 501.2 <i>milliwatts</i>
30 <i>dBm</i> = 1000 <i>milliwatts</i>
60 <i>dBm</i> = 1000000 <i>milliwatts</i>

Fonte: MORIMOTO (2009)

Teoricamente, o ganho da antena é medido em relação a um radiador isotrópico. Entende-se por modelo isotrópico o uso de uma antena que transmite o sinal de forma igual em todas as direções. Não existiria, portanto, diferença na polarização da antena isotrópica em toda superfície, formando uma esfera perfeita. Na prática, porém, considera-se impossível a confecção de uma antena isotrópica, já que é sempre necessário ter um conector entre a antena e o dispositivo causando uma pequena atenuação. Se tal antena existisse, ela não seria de muita utilidade, uma vez que refletiria muito sinal para cima e para baixo. “Todas as antenas concentram o sinal em determinadas direções, sendo que quanto mais concentrado é o sinal, maior é o ganho.” (MORIMOTO, 2009)

Observando o Quadro 3.1 acima, pode-se verificar que uma antena com 3dBi de potência de sinal de transmissão irradia o sinal com o dobro de potência do que uma antena isotrópica, e uma antena de 6 dBi de potência de sinal de transmissão oferece o sinal quatro vezes mais concentrado em relação as antenas isotrópicas.

Todas as antenas concentram o sinal em determinadas direções, e quanto mais concentrado, maior o ganho da antena e maior a área de transmissão e recepção. As antenas, porém, também atenuam a potência do sinal de transmissão

no momento em que fazem a conversão da corrente elétrica para ondas eletromagnéticas. Em um sistema real também ocorrem atenuações nos cabos e nos conectores. (MORIMOTO, 2009)

Verificando a potência de transmissão, a atenuação total do sistema (em cabos, antenas e conectores) e o ganho das antenas, podemos calcular o sinal que chega efetivamente ao receptor.

$$\text{Sinal Recebido}_{ef} = \text{Potência de Transmissão} + \text{ganho da antena transmissão} + \text{ganho da antena recepção} - \text{atenuação} \quad [3.6]$$

3.5.5- Unidade e medida de campo elétrico e campo magnético

O campo elétrico e o campo magnético são grandezas vetoriais, e, assim, têm intensidade, direção e sentido. As unidades de medida do campo elétrico e do campo magnético são respectivamente volt/metro e ampères/metro. (MEDEIROS, 2006)

A relação campo elétrico por campo magnético, fornece a impedância intrínseca do espaço livre:

$$\frac{E}{H} = Z_0 = 120 \cdot \pi = 377\Omega \quad [3.7]$$

onde:

$E \rightarrow$ É o campo elétrico (V/m).

$H \rightarrow$ É o campo magnético (A/m).

$Z_0 \rightarrow$ É a impedância intrínseca (Ω).

Em princípio, pode-se afirmar que quando maior for a potência transmitida, maior será a intensidade do campo elétrico e o alcance da transmissão. O resultado final da recepção vai depender da potência do radio transmissor, da distância e dos obstáculos a serem vencidos pela onda, e, também, dos tipos de antena transmissora e receptora. A potência de emissão, expressa em watt (W), é calculada pelo produto do quadrado da corrente de RF que alimenta a antena pela resistência da antena. (MEDEIROS, 2006)

$$P = I_{RF}^2 \cdot R_{ant} \quad [3.8]$$

onde:

$P \rightarrow$ É a potência (W).

$I_{RF} \rightarrow$ É a corrente elétrica RF (A).

$R_{ant} \rightarrow$ É a resistência da antena (Ω).

3.5.6- Polarização das ondas de rádio

A polarização da onda é tomada em função do posicionamento do campo elétrico em relação à superfície da Terra. Quando um campo elétrico é perpendicular ao solo (90° graus em relação do solo), a onda é dita verticalmente polarizada, e se o campo elétrico for paralelo em relação ao solo a onda é dita horizontalmente polarizada. Estes dois tipos de ondas são classificados como polarização lineares, mas existem outros tipos de polarizações como, por exemplo, a polarização circular, polarização elíptica e polarização cruzado que também é conhecida como polarização cruzada ou ortogonal (*cross-polarization*). (MEDEIROS, 2006)

Abaixo, na Figura 3.8, são apresentadas as representações de duas antenas. A primeira antena esta instalada no sentido vertical e o campo elétrico gerado é perpendicular em relação ao solo, formando uma transmissão verticalmente polarizada. A instalação da segunda antena é horizontal e o campo elétrico gerado é paralelo em relação ao solo, formando uma transmissão horizontalmente polarizada.

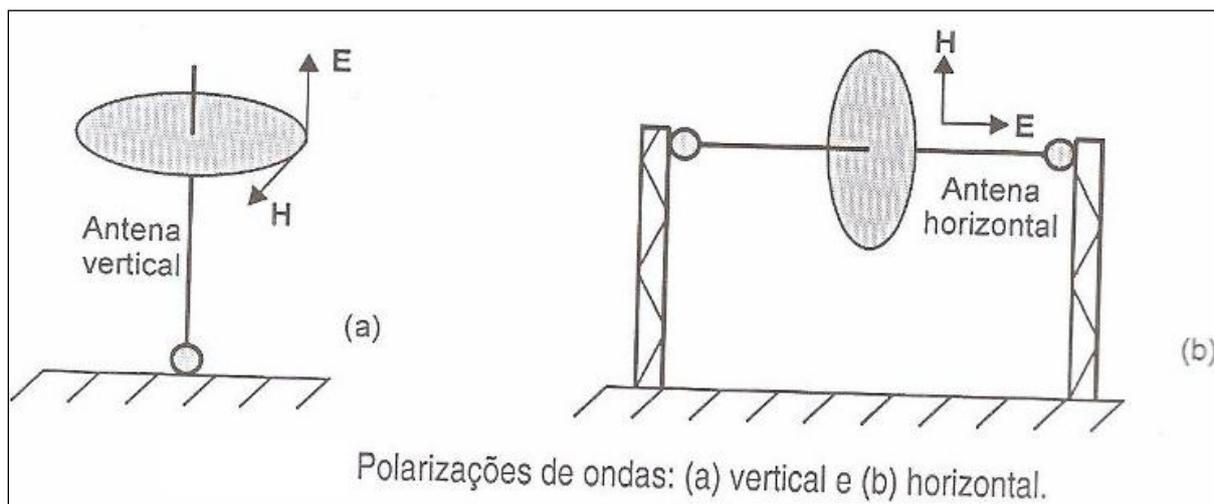


Figura 3.8 – Polarizações de ondas na vertical e horizontal

Fonte: MEDEIROS (2006)

A transmissão de ondas classificada como polarizada circularmente é aquela onde a extremidade do vetor campo elétrico descreve um círculo no plano perpendicular à direção de propagação, fazendo uma revolução completa durante um período de onda. Ela não é muito diferente da transmissão de ondas classificadas como polarizadas elipticamente, ou seja, quando a extremidade do vetor campo elétrico descreve uma elipse no plano perpendicular à direção de propagação, fazendo uma revolução completa durante um período de onda. (MEDEIROS, 2006)

Na polarização cruzada ocorre uma transmissão simultânea de duas ondas portadoras, independentes, de mesma frequência, com informações distintas e polarizadas ortogonalmente, ou seja, uma polarizada verticalmente e outra horizontalmente. Este tipo de polarização é utilizada em frequências mais altas na ordem de *giga hertz*, ou seja, na ordem de 10^9 hertz. A vantagem principal de utilizar polarização cruzada é o reuso, ou seja, a reutilização da frequência, podendo permitir uma redução significativa de tráfego da banda utilizada pela rede. (MEDEIROS, 2006)

3.5.7- Atenuação da onda devido ao espaço livre

No percurso entre a antena transmissora e a antena receptora, a onda vai se enfraquecendo. É possível calcular a perda ou atenuação da onda no espaço livre por meio do comprimento da onda do enlace e da distância percorrida pela a onda. (HAYKIN; MOHER, 2008)

$$L_{fs} = \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot d} \right)^2 \quad [3.9]$$

onde:

$L_{fs} \rightarrow$ É a potência (W).

$\lambda \rightarrow$ É o comprimento da onda eletromagnética.

$d \rightarrow$ É a resistência da antena (Ω).

Uma variação desta mesma fórmula é aplicável quando, em vez de potências elétricas e resistências, tem-se a distância entre as fontes emissora e receptora. (HAYKIN; MOHER, 2008)

$$L_p = \left(\frac{4\pi R}{\gamma} \right)^2 \quad [3.10]$$

Onde

$R =$ Raio ou distância transmissor-receptor

$\gamma =$ relação entre a velocidade da luz no vácuo e a frequência da onda [7] ou 0,124 m

3.5.8 - Atenuação da onda devido à áreas abertas

Assim como no caso do espaço livre, o percurso entre a antena transmissora e a antena receptora também se enfraquece ao percorrer distâncias abertas. Essa perda também pode ser calculada por meio da relação entre os raios total e o da área livre. (HAYKIN; MOHER, 2008)

A fórmula que representa esta atenuação ou perda pode ser observada a seguir:

$$L_p = (r/r_0)^{3,1} [3.11]$$

Onde

L_p = Perda em área aberta

r = raio total

r_0 = raio espaço livre

3.5.9 - Principais obstáculos causadoras de distúrbio do sinal de comunicação

Os sinais de redes *wireless*, tanto em redes *WLAN* como em redes *WWAN*, estão sujeitos a enfrentar barreiras ou interferências que prejudicam e/ou até inviabilizam a recepção do sinal. Entre as possíveis adversidades pode-se citar as superfícies metálicas que não estejam dentro do sistema de comunicação, materiais densos, corpos com grande concentração de líquidos, agitação térmica de elétrons (ruídos elétricos), entre outros. (MORIMOTO, 2009)

As superfícies metálicas externas ao sistema de comunicação são grandes inimigas do sinal, porque o metal reflete a maior parte do sinal deixando apenas uma pequena parte deste passar. Entre tais objetos estão as portas de metal, as vigas e até mesmo as tintas com pigmentos metálicos. (MORIMOTO, 2009)

Em materiais densos, como concreto e pedra, o sinal é absorvido. Nas paredes leves, feitas com tijolos furados, ocorre uma menor absorção de sinal do que em paredes feitas com tijolos maciços. As lajes e as vigas de concreto absorvem mais sinal do que as paredes, sejam elas de tijolo, concreto ou pedra. (MORIMOTO, 2009)

Os corpos com grande concentração de líquidos também absorvem sinal. Servem de exemplo os aquários, as piscinas, as caixas d'água e, até mesmo, o corpo humano (o corpo humano é composto por 70% de água). (MORIMOTO, 2009)

Uns dos obstáculos que geram maior preocupação nos projetistas de redes *wireless* são as interferências de sinal oriundas de diferentes sistemas de comunicação. Tais sinais possivelmente operam na mesma frequência de transmissão e sua fonte de origem consideravelmente próxima à área da rede a ser projetada. Em redes já projetadas, existe também tal preocupação uma vez que

podem surgir outras redes ao redor da já existente, e até mesmo, comunicações de rádio de forma proposital e mal intencionadas. (MORIMOTO, 2009)

Os fornos de microondas que operam a 2.4GHz, ou seja, na mesma frequência de redes *Wireless*, quando ligados, suas ondas podem interferir nas transmissões de alguma rede *wireless*. O forno de microonda tem em seu interior uma grade de metal para evitar que o sinal de onda escape, e assim não queime as pessoas que estejam ao seu redor, mas, comumente, é possível que uma pequena porção do sinal escape e interfira no sinal de uma rede *wireless*. (MORIMOTO, 2009)

Os ruídos elétricos são entendidos como resultado da agitação térmica na matéria, agitação esta que causa colisões entre as ondas do sinal, fazendo com que se dispersem no caminho. (MORIMOTO, 2009)

3.5.10 - A equação de Friis

Ao utilizar antenas anisotrópicas, isto é, antenas em forma de elipse que apontam a uma determinada direção, as perdas no espaço livre relacionadas à potência transmitida e recebida por antenas genéricas são determinadas por meio da Equação de Friis, que permite a realização de uma substituição direta das definições de ganho. (HAYKIN; MOHER, 2008)

$$P_R(dBm) = P_T(dBm) - L_T + G_T + G_R - L_R - A \quad [3.12]$$

Onde:

$P_R(dBm)$ - potência do sinal recebido em dBm

$L_T(dB)$ - perdas entre o transmissor e a antena

$G_T(dBi)$ - ganho da antena transmissora em relação à antena isotrópica

$G_R(dBi)$ - ganho da antena receptora em relação à antena isotrópica

$L_R(dB)$ - perdas entre o receptor e a antena

A = Perda no espaço entre o transmissor e o receptor, calculada por:

A equação de Friis é, portanto, a equação fundamental para o planejamento do enlace. Ela possibilita relacionar as potências transmitida e recebida, considerando as características de transmissão do enlace de rádio. Entende-se por estabelecimento do enlace que o valor de $P_R(\text{dBm})$ forneça potência suficiente ao receptor para ele detectar, com confiabilidade, a informação transmitida.

3.6 Antenas

As antenas são utilizadas nos sistemas de comunicação em redes wireless na transmissão para irradiar ondas eletromagnéticas e na recepção para captá-las. A antena transmissora converte corrente elétrica em ondas eletromagnéticas, e quando a antena receptora capta a onda eletromagnética, ela a converte para corrente elétrica. Existem diferentes tipos e modelos de antenas, que diferenciam as aplicações e seus resultados em função da frequência de trabalho, potência de transmissão e ganho. As informações transmitidas e recebidas pelas antenas serão apresentadas com maior riqueza de detalhes no próximo capítulo, com destaque principal nos cabos irradiantes (cabos coaxiais que atuam como antena). (MEDEIROS, 2006; MORIMOTO, 2009)

3.7 Rede Wireless

“Os três sistemas *wireless* mais utilizados são os padrões 802.11, WiMAX e os serviços de celular 3g.” (ROSS, 2009)

A movimentação de dados em rede wireless envolve três elementos independentes: sinais de rádio (ou ondas eletromagnéticas), formato de dados e Camada de Rede. Em termos do modelo de referência padrão OSI, o sinal de rádio opera na camada física (representados pelos equipamentos transmissores e antenas) e os formatos de dados (link de dados) especificados na camada de enlace, controlam as várias Camadas superiores. Na Camada de Rede estão incluídos os adaptadores da interface da rede wireless e as estações de base rádio base que enviam e recebem sinais de rádio (ondas eletromagnéticas). (ROSS, 2009)

3.7.1- Redes de dados *wireless*

Cada tipo de rede de dados *wireless* opera em um conjunto específico de frequência de rádio. A maioria de redes *wireless* operam em banda especial de frequência de rádio em torno de 2.4 GHz, o qual foi reservado em grande partes do mundo para serviços de rádio com difusão de espectro ponto a ponto sem licença. Outros sistemas wireless usam uma banda sem licença diferente em torno de 5GHz. (ROSS, 2009)

As propriedades de equipamentos utilizados nessas redes sem licenças, como, por exemplo, da potência de transmissão e ganho da antena, devem estar de acordo com as regras estabelecidas pelos órgãos públicos responsáveis pela telecomunicações de cada país. Este espectro sem licença pode ser utilizado por qualquer pessoa física.

3.7.2 Difusão de espectro

As difusões de espectros são padrões constituídos de métodos para transmitir sinais de rádio. A difusão de espectro estabelece a forma pela qual o sinal é transmitido. “Difusão de espectro é uma família de métodos para transmitir um único sinal de radio usando um segmento relativamente amplo do espectro de rádio.” (ROSS, 2009)

Existem vários tipos diferentes de difusão de espectro de rádio. Dois deles são OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) e o DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). “A tecnologia OFDM divide o sinal de radio em pequenos segmentos e salta de uma frequência para outra muitas vezes por segundo quando tramite estes elementos.” (ROSS, 2009)

“A tecnologia da difusão de espectro com sequência direta (DSSS) que controla redes 802.11b usa uma sequência Barker com 11 chips para difundir o sinal de rádio em um canal com largura de 22 MHz sem mudar as frequências.” (ROSS, 2009)

No Quadro 3.2 abaixo estão representados os padrões que utilizam essas difusões de espectro.

Quadro 3.2: Alguns padrões 802.11 e modulações

Padrão	Frequência	Modulação
802.11a	5 GHz	OFDM
802.11b	2.4 GHz	DSSS
802.11g	2.4 GHz	OFDM

Fonte: ROSS (2009)

3.7.3- WiMAX (*Worldwide Interoperability for Micriwave Acess*)

É um método de distribuição de dados *wireless* de banda larga em grande áreas geográficas. Os serviços oferecidos em uma rede *WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Micriwave Acess*) podem ser fornecidos dentro de um raio de 48 Km. (ROSS, 2009)

As Redes *WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Micriwave Acess*) podem utilizar uma ou mais estações de base para fornecer o serviço e os servidores de serviço utilizam uma ou mais frequências operacionais licenciadas em algum ponto entre 2 GHz e 11GHz. O link pode transmitir o sinal em até 70 *Mbps*, mas a maioria dos serviços *WinMax* são mais lentas. Esta rede compete com os serviços oferecidos pelas redes *wireless 3g*. (ROSS, 2009)

3.7.4 Cabo Irradiante

O cabo irradiante ou cabo Radiaflex, como é oficialmente conhecido, é uma evolução do cabo coaxial, cuja utilização está direcionada à transmissão de dados em ambientes *wireless*, isto é, para propagação no ar. As peças que fazem parte da montagem do cabo são o conector, o *pigtail*, um anel de borracha denominado *O-ring* e um termo contrátil. Para (TELECO, 2008)

Embora recente e pouco difundido nas áreas da tecnologia e telecomunicações, este tipo de cabo tem sido utilizado em aplicações específicas, como:

- i. Túneis rodoviários, ferroviários, metrô e minas;
- ii. Prédios corporativos, aeroportos, shopping centers, parques de exposição, etc; e

iii. Em veículos como: navios, plataformas marítimas, trens, etc.

Quanto às especificações básicas do cabo irradiante utilizado no projeto, elas podem ser observadas a seguir:

- Nome: RFS RADIAFLEX® 1/2" RCF 12-50 JFN Cable, A-Series
- Modelo: RCF12-50JFN
- Fabricante: Radio Frequency Systems (RFS)
- Faixa de operação: 30 MHz - 6 GHz
- Perda no conector: - 5 dB
- Atenuação: - 223 dB/km a 2.4 GHz
- Alcance: 487 metros / 1.600 pés.

CAPÍTULO 4 - A MEDIÇÃO DAS POTÊNCIAS DE SINAL DE RECEPÇÃO

Neste projeto foram analisadas e comparadas amostras de medidas de sinais transmitidos por dois roteadores com diferentes potências que utilizaram suas respectivas antenas de fábrica e cabos irradiantes em sua substituição. O sinal foi medido pelo equipamento receptor em alguns pontos do espaço de circulação do sinal *wireless* desejado, no caso presente, de um ambiente *indoor*, localizado no 1º andar do Bloco 7 do UniCEUB.

Os roteadores *Wireless*, no primeiro momento da medição, ficaram com suas antenas de fabrica originais. Para as fases seguintes, essas antenas foram substituídas pelo cabo irradiante de 2 metros de comprimento. O cabo irradiante foi posicionado tanto numa posição perpendicular ao solo, ou seja, na vertical, quanto numa posição paralela, isto é, na horizontal. As medições foram sempre realizadas e registradas nos mesmos pontos do espaço nos quais se deseja a circulação do sinal. O aparelho receptor que mediu o sinal nos diferentes pontos pré-estabelecidos tinha uma antena de recepção com uma concentração ou ganho de potência de sinal de 5 dBi e, também, um adaptador para adequar o sinal da rede e proporcionar uma melhor captação da potência do sinal de recepção. As verificações mais importantes foram aquelas nos pontos mais distantes do cabo irradiante.

Considerando as medidas amostrais realizadas no experimento deste projeto e, principalmente a alteração do posicionamento dos cabos (que conseqüentemente alteraram a forma de propagação do sinal e as potências de recepção do sinal para os roteadores de cada rede), elas serviram para comparar os resultados e verificar qual configuração ofereceu o melhor desempenho de circulação do sinal dentro do espaço planejado.

As amostras experimentais deste projeto **deveriam servir** para demonstrar as vantagens da instalação e uso de cabos irradiantes em redes *WLANs indoors* na posição vertical para uma conseqüente melhoria no alcance do sinal *wireless*.

As redes locais *wireless* foram montadas no interior do primeiro andar do prédio 5 do UniCEUB. As dimensões do andar e planta baixa do local onde foram realizadas as medições foram desenhadas no aplicativo Autocad que foi previamente instalado no *notebook*. A escolha do primeiro andar facilitou a observância da distância em cada ponto de medição do sinal entre o transmissor do sinal e o receptor e as divisórias que dificultam a circulação do sinal, permitindo calcular, em teoria, a potência recebida pelo receptor em cada um dos pontos de medição, para uma posterior comparação com os valores medidos em campo.

Desta forma, por meio da medição do campo, foi possível verificar a qualidade do sinal impulsionado pelo roteador *wireless* e transmitido pelo cabo irradiante que faz parte da rede local *wireless*. Comparando as diferentes medidas da potência do sinal de recepção de radio frequência das ondas eletromagnéticas das diversas configurações dos roteadores, com antena e cabo irradiante, pode-se obter as conclusões para servir de base para elaboração de redes de maior porte, ou seja, com maior número de equipamentos e usuários.

4.1 Topologia

O propósito do projeto é de medir as potências de sinal de recepção numa rede local sem fio (*wireless*) quando se utiliza roteadores com suas antenas originais de fábrica, e quando estas antenas são substituídas por um cabo irradiante de 2 metros de comprimento. O escopo deste projeto pode ser observado na Figura 4.1 a seguir. Nela estão apresentados os principais componentes para a medição das potências do sinal de recepção em diferentes pontos localizados no primeiro andar do Bloco 7 do UniCEUB, ou seja, os roteadores e suas antenas e cabo irradiante de transmissão que se comunicam com o *notebook* e sua antena de recepção.

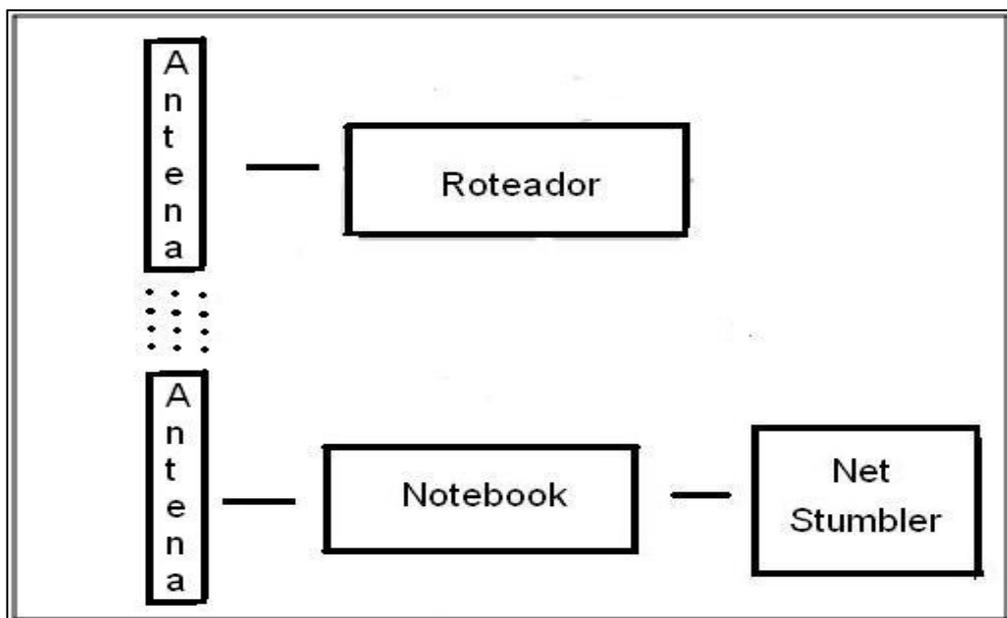


Figura 4.1 - Topologia básica do projeto de medição de potência de sinal recebido.

Fonte: Do autor

Assim como a topologia do projeto, é necessário apresentar a planta-baixa do local aonde às medições foram realizadas, neste caso específico, do primeiro andar do Bloco 7 do UniCEUB. Ela pode ser observada na Figura 4.2 abaixo:

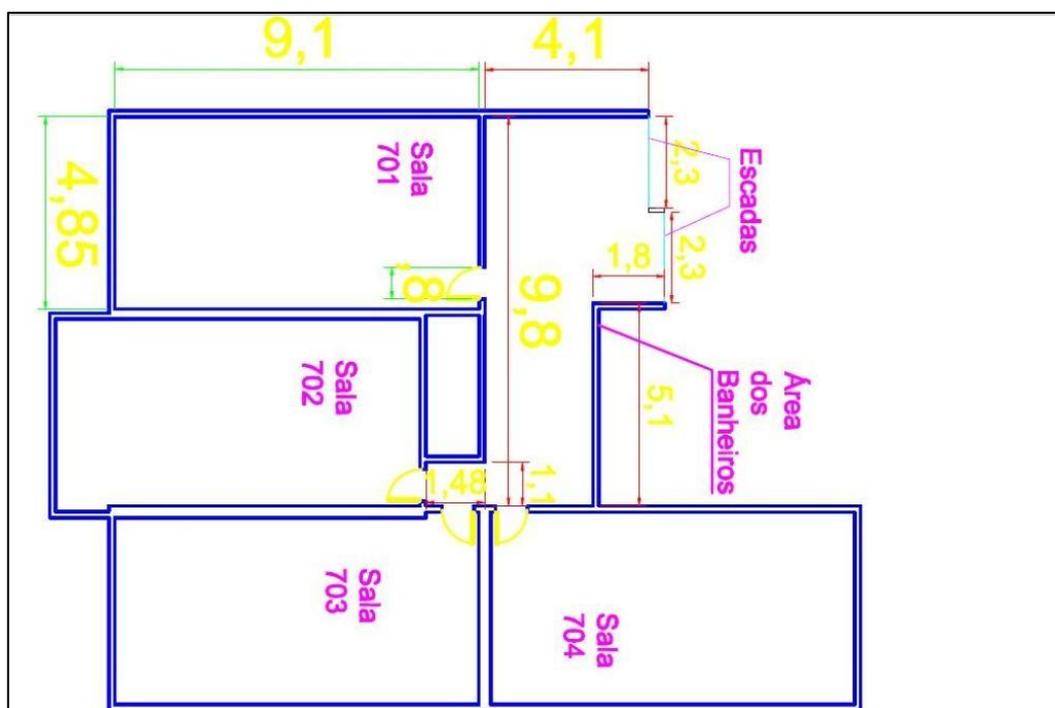


Figura 4.2 - Planta baixa do Bloco 7 do UniCEUB

Fonte: Do autor.

Como metodologia de projeto adotaram-se os seguintes passos: Considerou-se as especificações de redes wireless nos padrões 802.11 b e g, incluídos os dados de fabricante sobre potência irradiada, atenuação, etc., assim como o uso de uma transmissão em rede funcional, num primeiro instante, com uma antena de 2.2 dBi, para os dois roteadores. Desta forma seria possível realizar as medidas de campo para verificar a potência do sinal de recepção. Ressalta-se que os pontos de medição das salas foram próximos ao meio e no caso do corredor, no meio do espaço de circulação.

Sendo a intenção do projeto medir a potência do sinal de recepção com o uso do cabo irradiante, adotou-se a seguir as topologias de infraestrutura vertical e horizontal, e foram novamente realizadas as medições para poder verificar e comparar o funcionamento quanto à recepção do sinal, isto é, sua potência.

Para tanto foi feito o seguinte planejamento para realizar as medições:

- i) A verificação e medição do ambiente onde foram realizadas as medidas amostrais das redes wireless;
- ii) A configuração do roteador wireless IEEE 802.11b foi realizada por meio do notebook do projeto. Primeiro com a antena de 2.2 dBi, nos momentos posteriores, com o cabo radiante;
- iii) O cabo radiante comprado foi montado um conector SMA Reverso macho para conectar-se ao roteador. O conjunto foi acoplado a uma base de madeira para facilitar as medições do cabo nas posições vertical e horizontal;
- iv) O roteador *wireless*, que possui um conector SMA Reverso fêmea foi, num segundo momento das medições, conectado ao cabo irradiante para a transmissão do sinal, tanto na vertical quanto na horizontal;
- v) O Notebook com o software de medição de potência de recepção foi utilizado para medir amostras do sinal recebido; e
- vi) Fez-se a substituição do roteador *wireless* por outro com pelo menos uma propriedade física diferente, e padrão IEEE 802.11g,

mantendo-se a antena de 2.2.dBi e repetidos os procedimentos de iii a v.

4.2 Ferramentas para o Trabalho das Medições

No processo preparatório para efetuar as medições de potência de recepção do sinal em ambiente fechado, fez-se uso das seguintes ferramentas:

- Fita métrica, papel milimetrado e lapiseira: para medir e desenhar o primeiro andar do bloco 5, onde vai ser o local de circulação do sinal RF da rede wireless.
- 2 Roteadores *Wireless*
 - Roteador 1 - Marca: OIWTECH, Modelo: OIW-2411APG. Faixa de Frequência: 2.400 a 2.483 GHz. Potência de transmissão do sinal: Para padrão 802.11b é de 26 dBm (400mW); Para padrão 802.11g é de 18 dBm (63mW). Antena fornecida de Fabrica: 5 dBi. Distância prometida do fabricante: até 100 metros em ambientes indoor.



Figura 4.3 - Roteador OIW-2411APG

Fonte: DO AUTOR (2010)

- Roteador 2 - Marca: LEVEL ONE. Modelo: WBR- 6002. Faixa de Frequência: 2.400 a 2.483 GHz. Potência de transmissão do sinal: 18 dBm (63mW). Antena fornecida de Fabrica: 5 dBi. Distância prometida do fabricante: Não consta no *Datasheet*.



Figura 4.4 - Roteador WBR- 6002

Fonte: DO AUTOR (2010)

- 2 metros de Cabo Irradiante



- uma madeira de 2,75 metros e 5 abraçadeira de U 1/2 polegadas. A madeira irá manter reta o cabo radiante e as abraçadeiras irão prender o cabo radiante na madeira.



Figura 4.7 - Madeira com cabo irradiante instalado

Fonte: Do autor

- Um suporte de madeira para manter a instalação do cabo irradiante na posição vertical



Figura 4.8 – Suporte de madeira

Fonte: Do autor



Figura 4.9 – Suporte de madeira:

Fonte: Do autor

- Notebook Acer Aspire Modelo 5920
- Adaptador de rede *wireless*: Marca: TP-LINK. Modelo: TL-WN722N. Faixa de Frequência: 2.400 a 2.483 GHz. Normas suportada: 802.11n, 802.11g, 802.11b. Sensibilidade do receptor (sem antena): 108 Megas: -68dBm. 54 Megas: -68dBm. 11 Megas: -85dBm . 6 Megas: -88dBm. 1 Mega: -90dBm. *Com 10% de perda cada (Observação: o adaptador se encontra instalado na porta USB do notebook).
- Antena de recepção com ganho de potência de recepção de 5dBi.

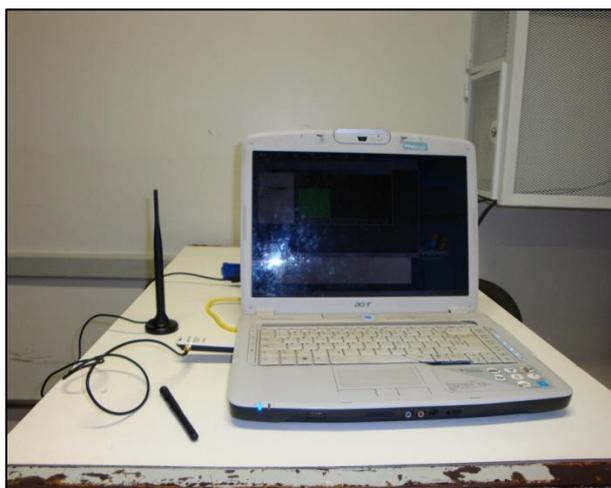


Figura 4.10 - Notebook Acer com adaptador de rede wireless e antena instalados.

Fonte: Do autor (2010)

- *Network Stumbler* é um programa *beggarware*, ou seja, é livre, mas não é open source. Embora tenham pedido uma doação de \$ 50,00 para usuários comerciais e governamentais a última versão, a qual é a 0.40, esta disponível para *download* no site www.netstumbler.com. Medidas principais que o software realiza: Intensidade do Sinal (Signal+) em dBm. Intensidade do Ruído (Signal-) em dBm. Taxa de Sinal/Ruído (SNR+) em dBm. *O *software* apresenta gráfico para verificar a variação do sinal dentro da área de circulação do sinal da rede, possibilitando o teste de diferentes combinações de antenas, posicionamento do roteador *wireless*, potência recebida e assim por diante.
- Microsoft Excel e AUTOCAD instalado no notebook. No Excel registrará os principais dados de medida da potência de transmissão teórica e prática ajudando a organizar os dados. No AUTOCAD será desenhado o ambiente de propagação com proporções de medidas do ambiente e identificando a distância de medida entre o receptor e o transmissor.

4.3 Preparativos para os cálculos de medição

O ambiente de circulação do sinal foi medido na primeira fase do projeto com fita métrica e desenhado em papel milimetrado, onde, por proporção, foram organizadas as medidas para definir os pontos onde realizar as medições das amostras da potência do sinal de recepção. Com base no desenho final em papel milimetrado foi preparada uma versão virtual deste espaço no notebook com o auxílio do aplicativo auto CAD, apresentado a seguir.

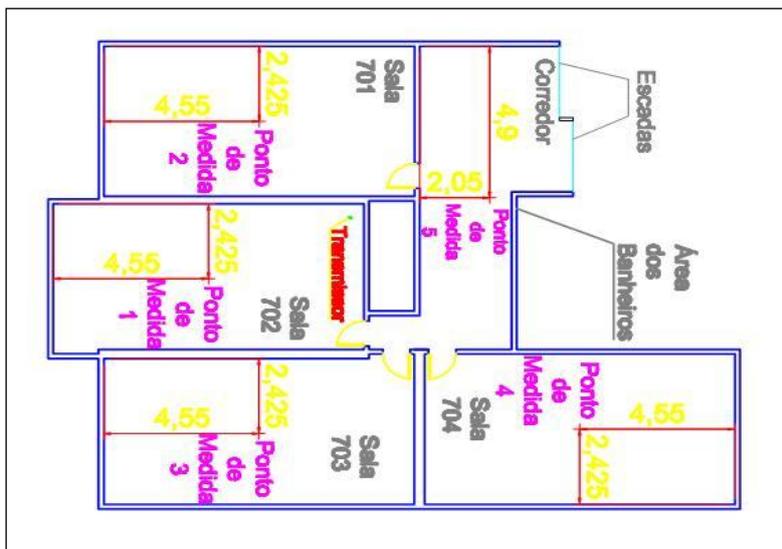


Figura 4.11 - Planta baixa do Bloco 7 do UniCEUB com os pontos de medição
Fonte: Do autor

Os roteadores *wireless* foram configurados por meio do notebook utilizado no projeto. Foram criadas duas (ou três) redes *wireless* com cada um dos roteadores. As redes foram denominadas 1A; 1B; 2A e 2B, onde a terminação “A” corresponde ao uso da antena original de fábrica e a terminação “B” ao uso do cabo radiante.

Apresenta-se a seguir nas Figuras 4.12 e 4.13 as imagens da tela do notebook referentes às configurações de rede de ambos os modems. O primeiro para o padrão IEEE 802.11b e o segundo, para o padrão IEEE 802.11g.

Figura 4.12 – Configuração Modem IEEE 802.11b

Fonte: Do autor

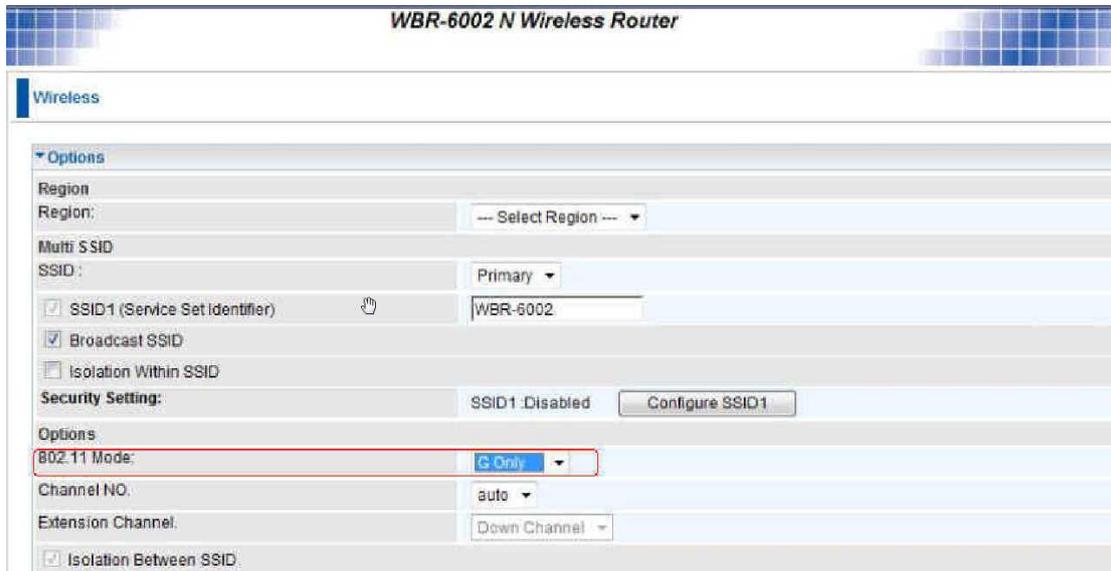


Figura 4.13 – Configuração Modem IEEE 802.11g

Fonte: Do autor

Finalizada a apresentação dos componentes do projeto, pode-se prosseguir para a parte relativa aos cálculos teóricos da potência do sinal de recepção e da medição realizada no Bloco 7 do UniCEUB.

CAPÍTULO 5 – IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

A seguir descreve-se os procedimentos realizados para a implementação do projeto, ou seja, do detalhamento dos cálculos teóricos da potência do sinal de recepção nos pontos especificados das salas 701 a 704 e do corredor de acesso. Nas seis etapas a seguir detalhadas, foram feitas, no total, 50 medições. Estas medições foram graficamente registradas pelo software *Netstumbler*.

5.1 Medições de Potência – Teóricas

Uma vez com a planta baixa a disposição e as distâncias entre a antena e os pontos de medição, pode-se calcular/estimar, de acordo com a teoria relacionada à Equação de Friis, a perda de potência da recepção de sinal.

Os procedimentos de cálculo estimativo da perda de potência da recepção do sinal obedecem ao seguinte critério:

- a) O transmissor opera numa determinada frequência de onda, nos casos contemplados, de 2.4 GHz. As potências de transmissão dependem da norma 802.11 em consideração.
- b) O ganho da antena = 5 dB.
- c) O espaço livre é definido com o espaço entre a antena e a parede que a circunvizinha, e a respectiva perda calculada de acordo com a fórmula de perda do percurso no espaço livre [3.10], apresentada no subitem 3.5.8. Este valor deve ser convertido a dB utilizando a fórmula [3.5] apresentada no subitem 3.5.2.
- d) Estabelece-se um valor fixo de atenuação pelas paredes, no caso, 18 dB.
- e) A perda do cabo irradiante é de 15 dB para distâncias de até 100 m.
- f) Realiza-se o cálculo da perda de potência relativa à propagação em área aberta. Para tal considera-se a relação entre os raios distância total e espaço livre.
- g) A potência do sinal de recepção é o resultado da soma dos itens a e b e da subtração dos itens c a f.

h) Sensibilidade do receptor é um valor fixo de -75dBm.

Exemplo: O primeiro cenário considerado, do transmissor na sala 702 e o receptor na sala 701, têm-se os seguintes valores:

a) Potência de transmissão = 26 dBm para o padrão 802.11b

b) Ganho da antena = 5 dB.

c) Espaço livre = 0,615 m

Aplicando a formula [3.10] em 3.5.8. tem-se que a perda no espaço livre é de

$$((4 * 3,1416 * 0,615) / 0,124)^{**2}$$

ou

$$3884,4305$$

Convertendo o valor para dB utilizando a formula [3.5] em 3.5.2.tem-se o valor 35,8932 dB

d) Valor fixo = 18 dB

e) Valor fixo = 15 dB

f) O cálculo da perda na área aberta toma os valores raio total = 4,08 e raio espaço livre = 0, 615

Aplicando a fórmula [3.5] em 3.5.2. e convertendo para dB tem-se o valor = 25,4753 dB

g) A perda de potência recebida do sinal é:

$$- 35,8932 - 18 \text{ dB} - 15 \text{ dB} - 25,4753 \text{ dB} , \text{ ou seja}$$

a perda é igual a -94,3685 dB.

h) O valor total da potência recebida do sinal é

$$+ 26 \text{ dBm} + 5 \text{ dB} - 35,8932 - 18 \text{ dB} - 15 \text{ dB} - 25,4753 \text{ dB} = -63,3685 \text{ dBm}$$

Comparando o valor da potência recebida do sinal com a sensibilidade do receptor, que é de -75 dB, percebe-se que o enlace pode ser estabelecido.

Os valores teóricos calculados para as salas 701, 702, 703, 704 e corredor podem ser observados a seguir nas tabelas para o roteador 1 na norma 802.11b e o roteador 2 na norma 802.11g. As exatas posições de medição, para cada uma das salas, podem ser melhor observadas nas Figuras 5.1 a 5.5 apresentadas a seguir:

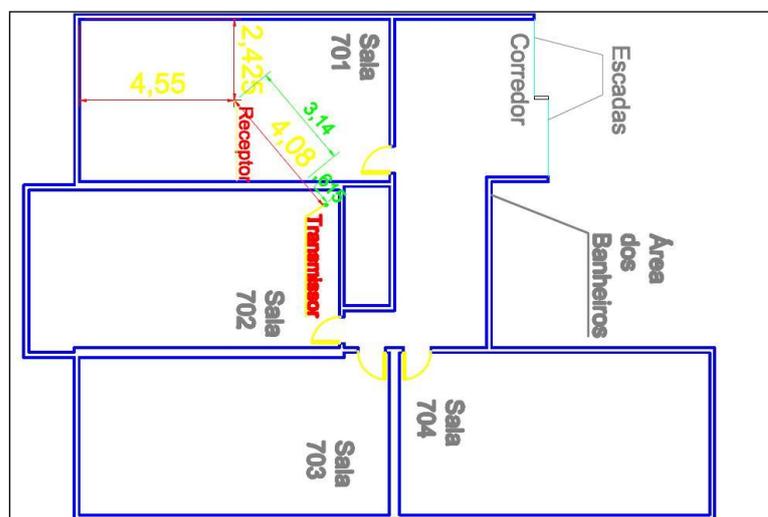


Figura 5.1 - Planta baixa Sala 701 – posição de recepção de sinal.

Fonte: Do Autor (2010)

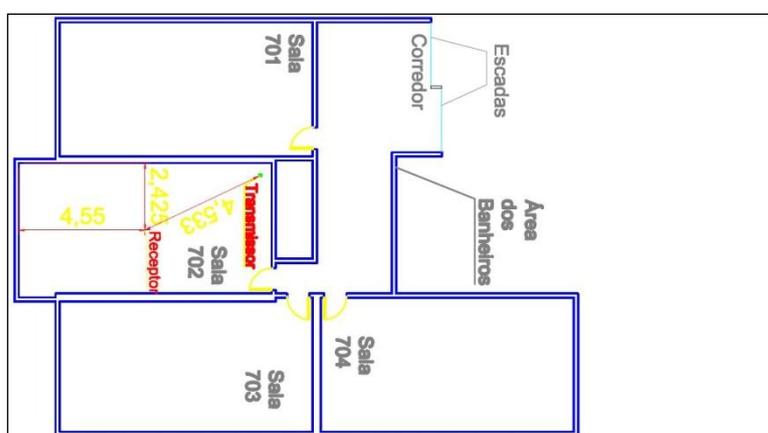


Figura 5.2 - Planta baixa Sala 702 – posição de recepção de sinal.

Fonte: Do Autor (2010)

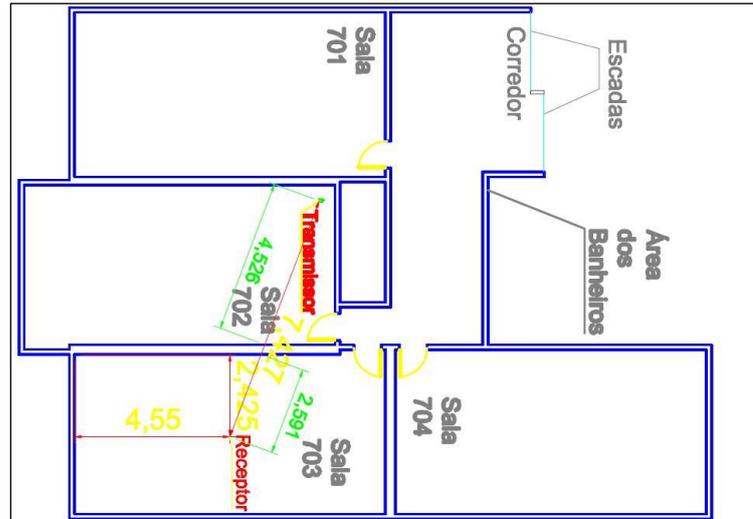


Figura 5.3 - Planta baixa Sala 703 – posição de recepção de sinal.

Fonte: Do Autor (2010)

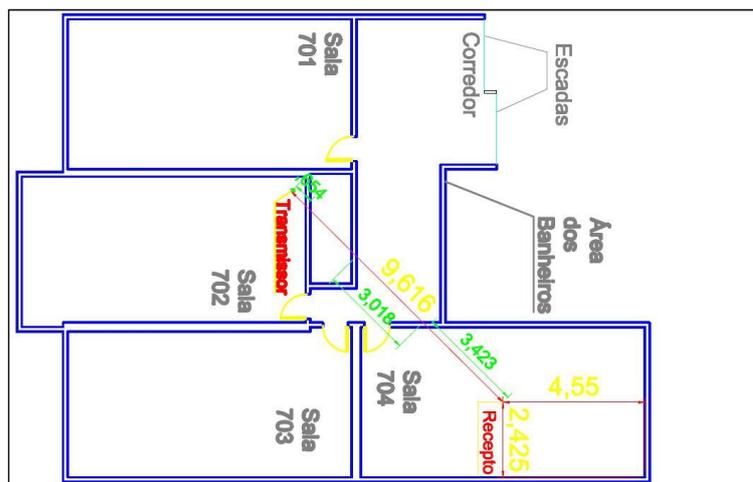


Figura 5.4 - Planta baixa Sala 704 – posição de recepção de sinal.

Fonte: Do Autor (2010)

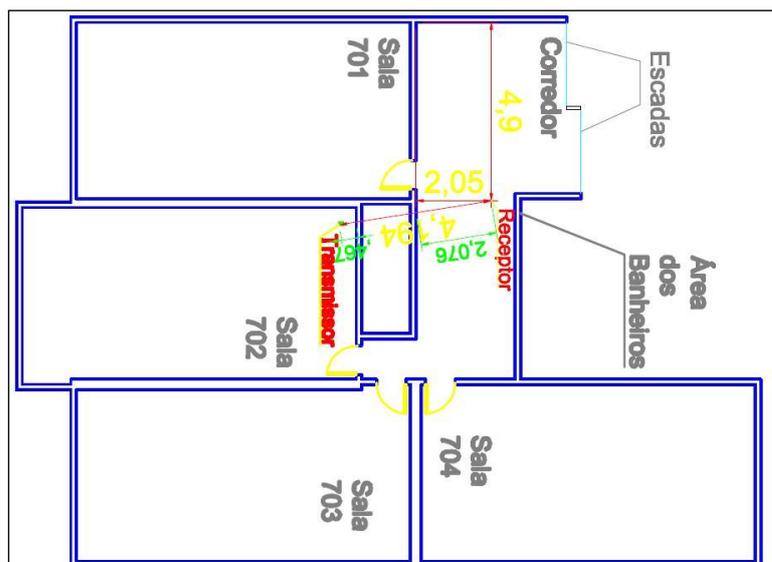


Figura 5.5.- Planta baixa do Corredor – posição de recepção de sinal.

Fonte: Do Autor (2010)

Os valores teóricos calculados para cada um dos pontos de medição para os roteadores nas normas IEEE 802.11b e IEEE 802.11g foram reunidos e tabelados e estão apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2 a seguir:

Tabela 5.1 - Roteador 1 - 802.11b – Potência do sinal de transmissão 26dBm

	Perda Espaço Livre	Atenuações	Perda Área Aberta	Perda Total Potência	Ganhos de Potência	Potência Recebida
Sala 701	-35,89 dB	-33,00 dB	-25,47 dB	-94,36 dB	+5,00 dBi	- 63,36 dBm
Sala 702	-53,24 dB	-15,00 dB	0,00 dB	-68,24 dB	+5,00 dBi	- 37,24 dBm
Sala 703	-53,23 dB	-33,00 dB	-6,67 dB	-92,90 dB	+5,00 dBi	- 61,9 dBm
Sala 704	-36,43 dB	-33,00 dB	-23,34 dB	-92,77 dB	+5,00 dBi	- 61,77 dBm
Corredor	-33,50 dB	-33,00 dB	-29,55 dB	-96,05 dB	+5,00 dBi	- 65,05 dBm

Fonte: Do Autor (2010)

Conforme anteriormente confirmado, a sensibilidade do receptor é de – 75dB, portanto o enlace pode ser estabelecido.

Tabela 5.2 - Roteador 2 - 802.11g – Potência do sinal de transmissão 18dBm

	Perda Espaço Livre	Atenuação	Perda Área Aberta	Perda Total Potência	Ganhos de Potência	Potência Recebida
Sala 701	-35,89 dB	-33,00 dB	-25,47 dB	-94,36 dB	+5,00 dB	- 71,36 dBm
Sala 702	-53,24 dB	-15,00 dB	0,00 dB	-53,24 dB	+5,00 dB	- 45,24 dBm
Sala 703	-53,23 dB	-33,00 dB	-6,67 dB	-65,90 dB	+5,00 dB	- 69,90 dBm
Sala 704	-36,43 dB	-33,00 dB	-23,34 dB	-65,77 dB	+5,00 dB	- 69,77 dBm
Corredor	-33,50 dB	-33,00 dB	-29,55 dB	-69,05 dB	+5,00 dB	- 73,05 dBm

Fonte: Do Autor (2010)

Assim como no caso do Roteador 1, o enlace pode ser estabelecido. Deve-se notar que a potência recebida na sala 701 e no corredor se encontram muito próximas do limite para a obtenção do enlace.

5.2 Medições de Potência – Reais

Os procedimentos para análise do sinal de recepção foram idênticos para cada rede. O cabo irradiante foi montado no suporte uma madeira, onde 5 braçadeiras simples U de 1/2 polegada ajudaram a mantê-lo preso e permitir que seja movido para as posições vertical e horizontal.

O notebook, aonde foi instalado o *software network Stumbler*, possui uma antena de 5 dBi para receber o sinal e, também, medir o seu nível de potência de recepção.

Os procedimentos do projeto foram realizados em 6 etapas e anotados seus resultados.

Etapa 1- A primeira rede foi criada com o primeiro roteador e antena de 2.2 dBi de fábrica. As medições foram realizadas nos pontos previamente estabelecidos e anotados na planilha *Excel*.



Figura 5.6 – Roteador 1 – IEEE 802.11b

Fonte: Do Autor (2010)

Tabela 5.3 - Potências de Recepção Teórica e Real (em dBm)

	Potência Teórica	Potência Real
Sala 701	- 63,36	- 62
Sala 702	- 37,24	- 52
Sala 703	- 61,9	- 66
Sala 704	- 61,77	- 70
Corredor	- 65,05	- 47

Fonte: Do Autor (2010)

Observando os gráficos gerados pelo *NetStumbler*, percebeu-se que em alguns breves momentos, demonstrado pelas linhas negras na vertical, que o enlace com o roteador foi perdida. A potência de recepção do sinal na sala 704 foi o mais débil, porém mais consistente que na sala 703. Esperava-se uma melhor potência na sala 702 uma vez que não há paredes.

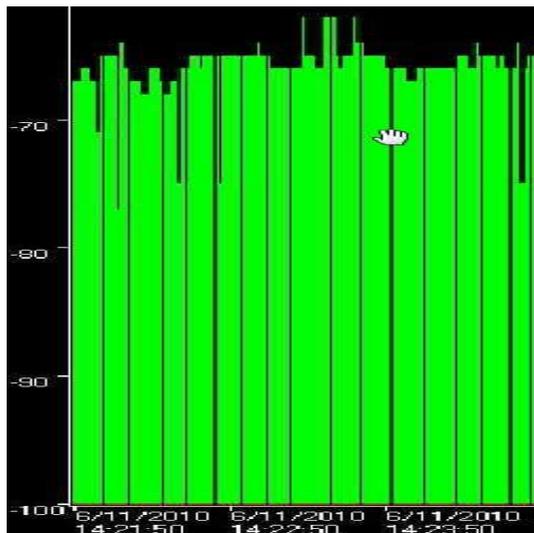


Figura 5.7 - Medição sala 701 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção não foi inferior a -75dBm , uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

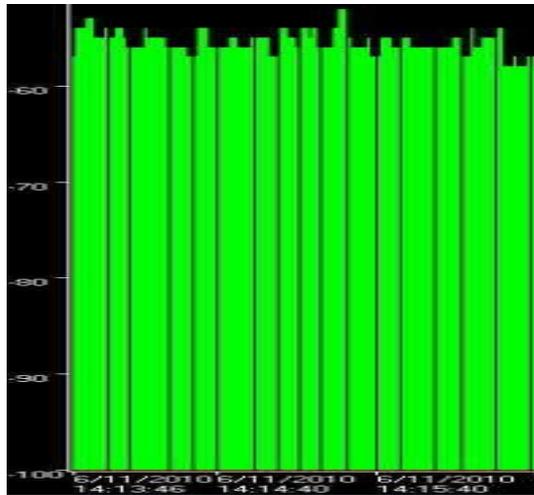


Figura 5.8 - Medição sala 702 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção não foi inferior a -60 dBm , uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

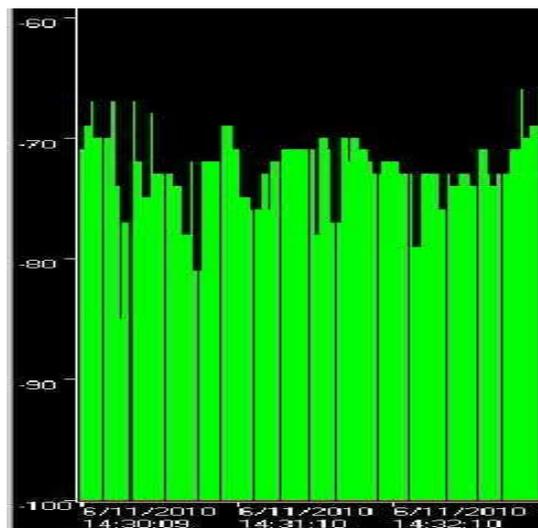


Figura 5.9 - Medição sala 703 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção não foi inferior a -85 dBm, uma sensibilidade teoricamente insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal entre -65 dBm e -80dBm segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

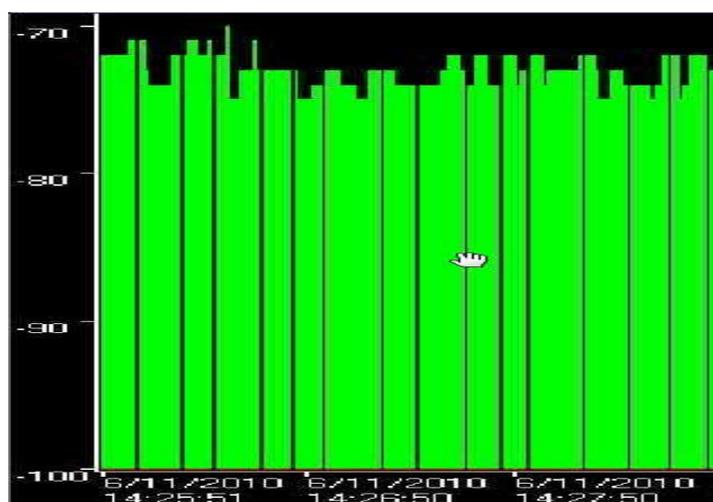


Figura 5.10 - Medição sala 704 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção não foi inferior a -75dBm, uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace. Deve-se ressaltar que esta é a sala mais crítica quanto a distância e atenuadores.

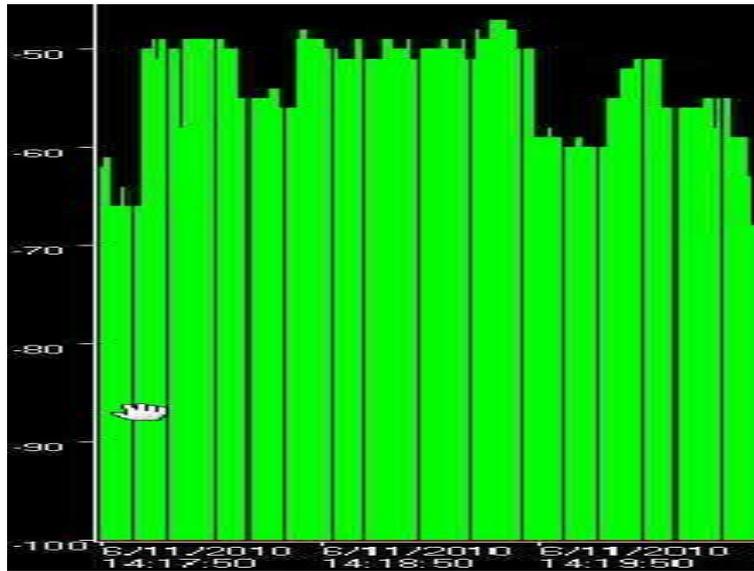


Figura 5.11 - Medição corredor – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção não foi inferior a -70 dBm, uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

Etapa 2- Substituiu-se no roteador a antena de 2.2 dBi pelo cabo irradiante na posição vertical. As medições foram repetidas para os mesmos pontos previamente estabelecidos e anotados nas planilhas do *Excel*. Observe que nesta configuração a onda se propaga horizontalmente em relação ao solo.



Figura 5.12 - Roteador-1 com cabo irradiante na posição vertical.

Fonte: Do Autor (2010)

Tabela 5.4: Potências de Recepção Teórica e Real (em dBm)

	Potência Teórica	Potência Real
Sala 701	- 63,36	- 81
Sala 702	- 37,24	- 72
Sala 703	- 61,9	- 79
Sala 704	- 61,77	- 84
Corredor	- 65,05	- 75

Fonte: Do Autor (2010)

Observando os gráficos gerados pelo *NetStumbler*, percebeu-se que em alguns breves momentos, demonstrado pelas linhas negras na vertical, que o enlace com o roteador foi perdida. Os valores medidos nas salas 701, 703 e 704 e corredor, que apresentam paredes como atenuadores, são inferiores à potência

para o enlace. A potência de recepção do sinal na sala 704 foi o mais débil e o do corredor se mostrou mais potente do que demonstrava a medição teórica. Uma vez mais esperava-se melhor potência na sala 702.

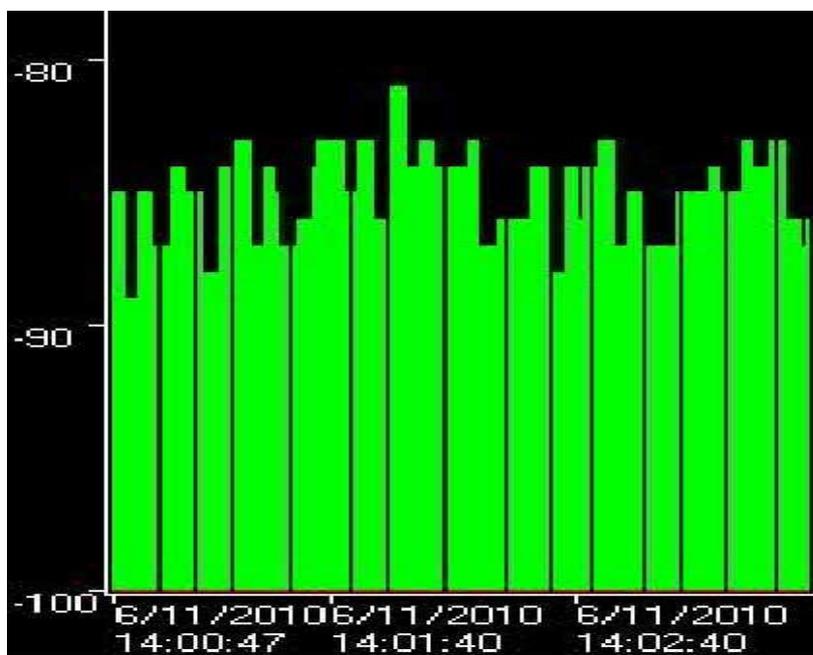


Figura 5.13 - Medição sala 701 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção não foi inferior a -88 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

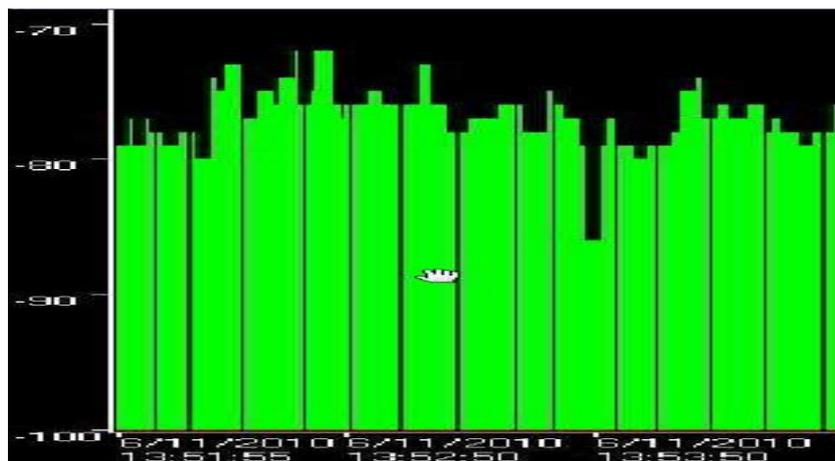


Figura 5.14 - Medição sala 702 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção na maior parte do tempo não foi inferior a -75 dBm, uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

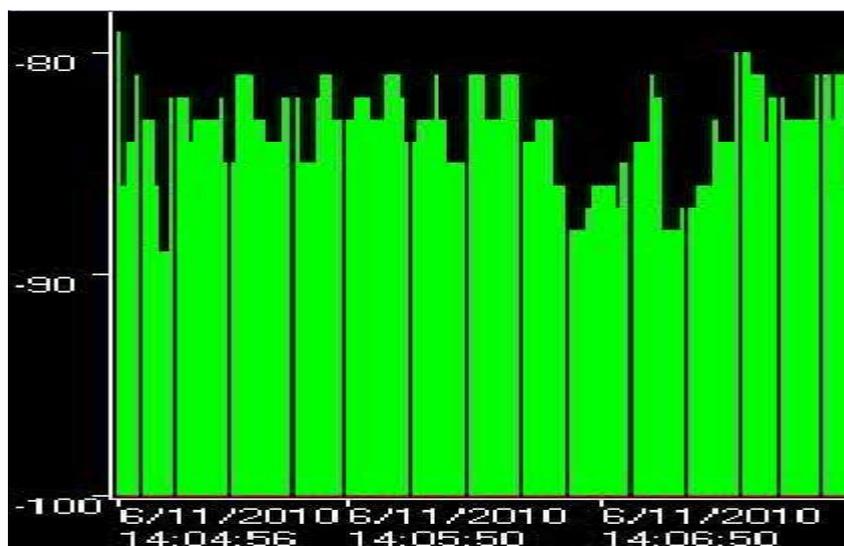


Figura 5.15 - Medição sala 703 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção oscilou entre -80 dBm e -90 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

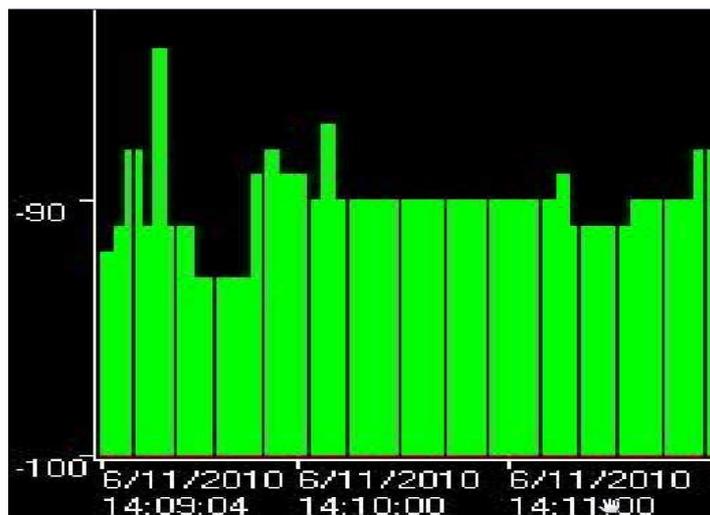


Figura 5.16 - Medição sala 704 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção ficou na média de -90dBm, uma sensibilidade insuficiente suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace. Deve-se ressaltar que esta é a sala mais crítica quanto a distância e atenuadores.

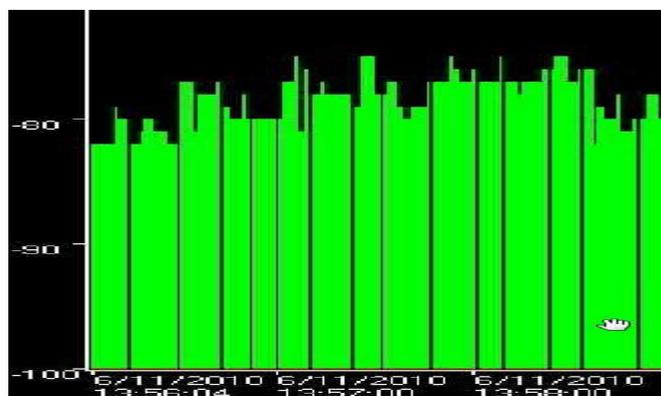


Figura 5.17 - Medição corredor – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção ficou na média entre -75dBm e -80dBm, uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace. Deve-se ressaltar que esta é a sala mais crítica quanto a distância e atenuadores.

Etapa 3- Foi mudado o posicionamento do cabo, ainda para a primeira rede, para a horizontal, e realizadas as medições nos mesmos pontos anteriores. Observe que a polarização da onda se propaga verticalmente em relação ao solo.



Figura 5.18 – Roteador-1 com cabo irradiante na posição horizontal.

Fonte: Do Autor (2010)

Tabela 5.5: Potências de Recepção Teórica e Real (em dBm)

	Potência Teórica	Potência Real
Sala 701	- 63,36	- 83
Sala 702	- 37,24	- 74
Sala 703	- 61,9	- 87
Sala 704	- 61,77	- 93
Corredor	- 65,05	- 72

Fonte: Do Autor (2010)

Observando os gráficos gerados pelo *NetStumbler*, percebeu-se que os valores medidos em todas as salas são inferiores ao valor para estabelecimento do enlace, e somente no corredor o valor o permitiu. O enlace do roteador se perdeu por intervalos maiores na sala 704. A medição na sala 703 se mostrou constante, isto é, não houve quebra no enlace, o que merece uma maior atenção pelo comportamento anômalo. A potência de recepção do sinal na sala 704 foi o mais débil. Repete-se o mesmo desempenho inferior da potência na sala 702.

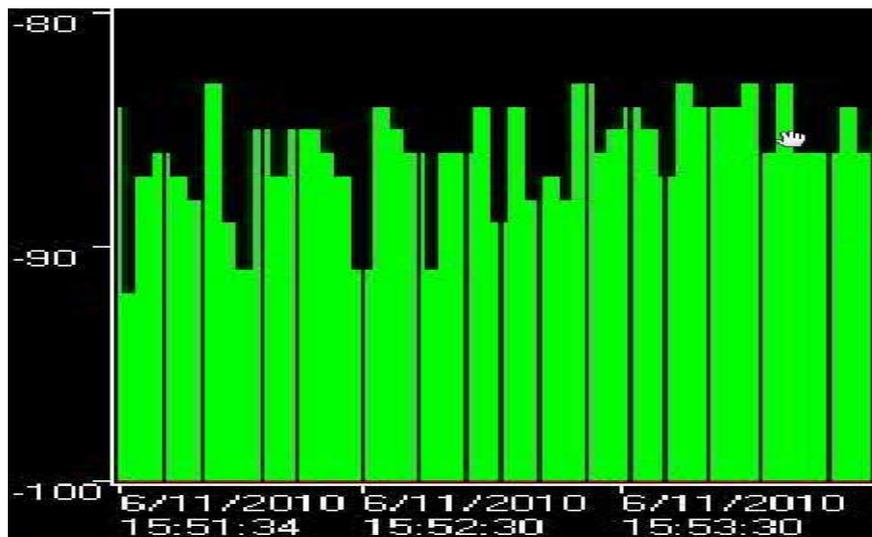


Figura 5.19 - Medição sala 701 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção não foi superior foi inferior a -85 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

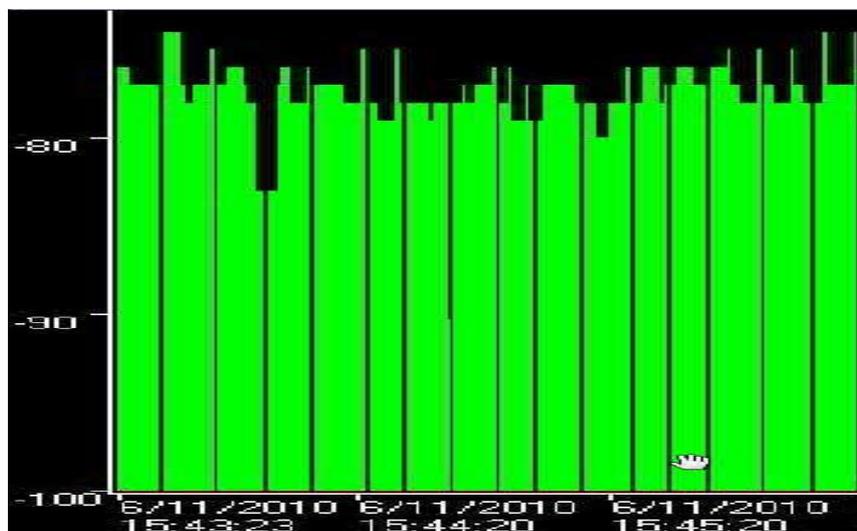


Figura 5.20 - Medição sala 702 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção na maior parte do tempo não foi inferior a -75 dBm, uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

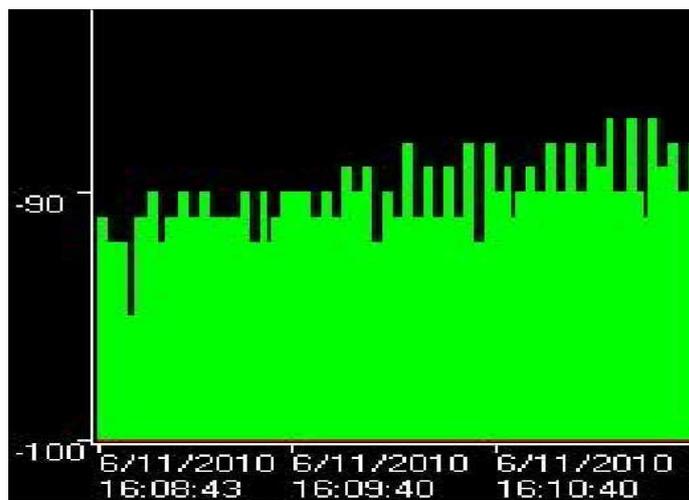


Figura 5.21 - Medição sala 703 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potência do sinal de recepção na maior parte do tempo foi de -90 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. A potência se manteve constante, sem falhas segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

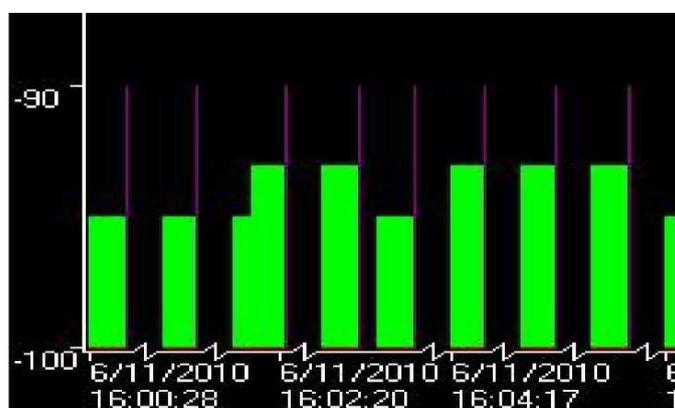


Figura 5.22 - Medição sala 704 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potência do sinal de recepção oscilou entre -90 dBm e -95 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal, mas sem estouro, segundo o NetStumbler. Deve-se ressaltar que esta é a sala mais distante da fonte do sinal e com maior número de atenuadores.

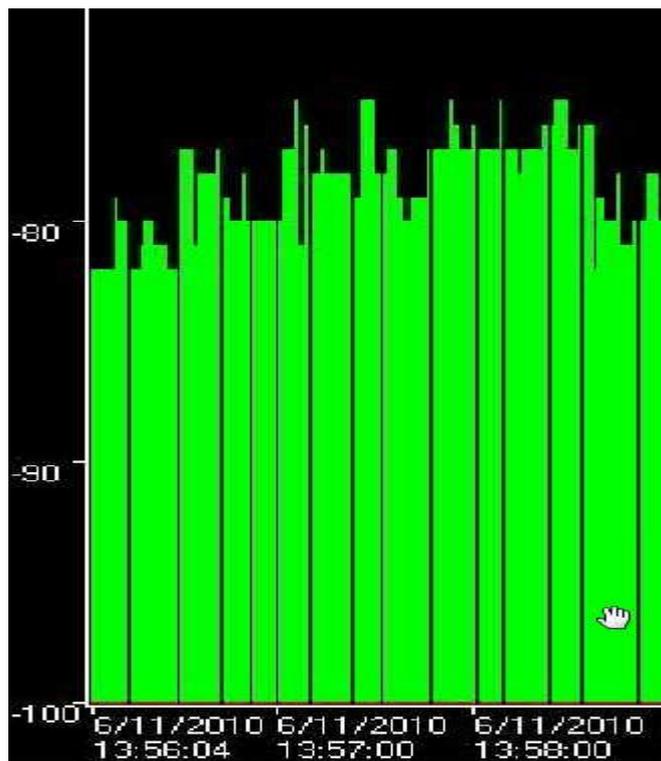


Figura 5.23 - Medição corredor – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção oscilou entre -75dBm e -85 dBm, uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

Etapa 4- A segunda rede foi instalada com o segundo roteador e utilizou-se a mesma antena de 2,2 dBi utilizada no primeiro. O sinal foi medido para os mesmos pontos anteriores e os resultados anotados na planilha *Excel*.



Figura 5.24 - Roteador 2 – IEEE 802.11g

Fonte: Do Autor (2010)

Tabela 5.6: Potências de Recepção Teórica e Real (em dBm)

	Potência Teórica	Potência Real
Sala 701	- 71,36	- 58
Sala 702	- 45,24	- 53
Sala 703	- 69,9	- 57
Sala 704	- 69,77	- 63
Corredor	- 73,05	- 52

Fonte: Do Autor (2010)

Observando os gráficos gerados pelo *NetStumbler*, que as potências de recepção de sinal mostraram um desempenho superior do que as medições anteriores com o roteador-1 nas mesmas condições. Percebeu-se também que a perda de potência do sinal na sala 702 se aproximou mais dos valores teoricamente calculados. A sala 704 é a que apresenta a maior perda de potência de sinal. Embora as potências medidas garantissem a manutenção do enlace, as perdas momentâneas do enlace permaneceram nas medidas realizadas com o novo roteador.

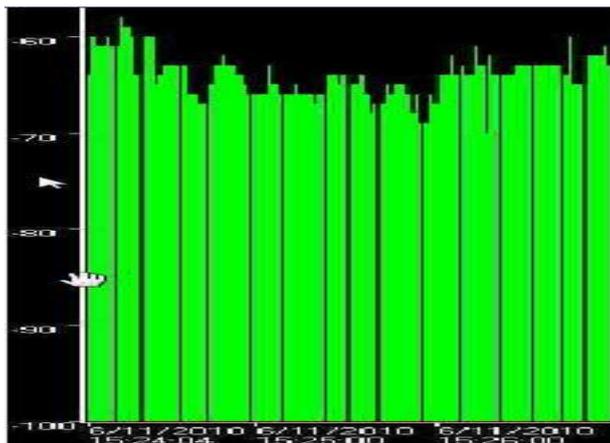


Figura 5.25 - Medição sala 701 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potência do sinal de recepção foi inferior a -65dBm , uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha intermitente na recepção do sinal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

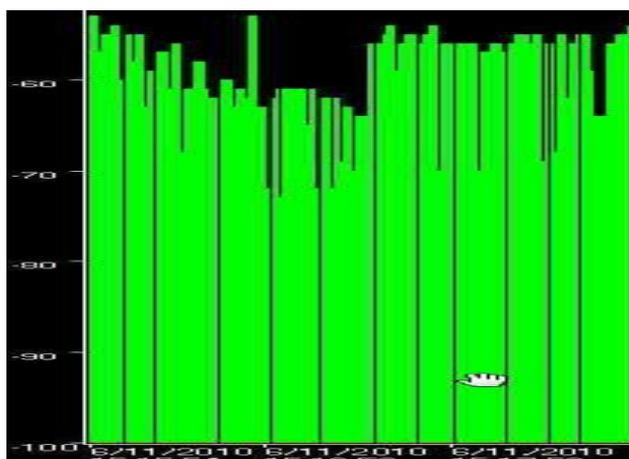


Figura 5.26 - Medição sala 702 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potência do sinal de recepção na maior parte do tempo não foi inferior a -70dBm , uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver uma falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

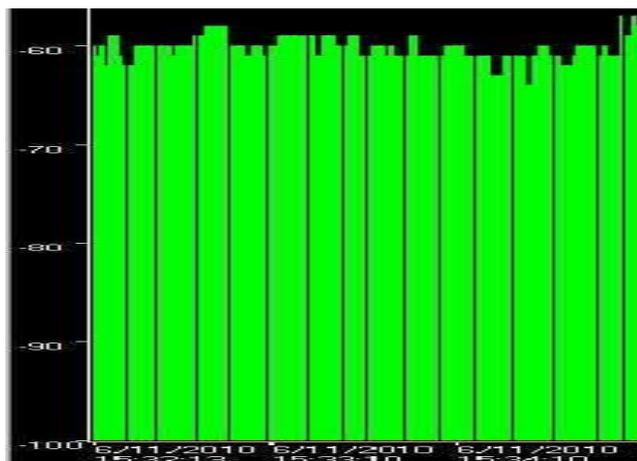


Figura 5.27 - Medição sala 703 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção manteve-se constantemente na faixa de -60 dBm, uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

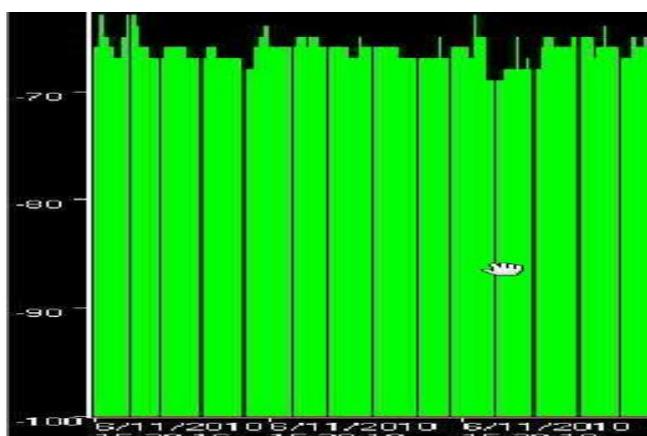


Figura 5.28 - Medição sala 704 – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potência do sinal de recepção manteve-se superior à -65 dBm, uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal, mas sem estouro, segundo o NetStumbler. Deve-se ressaltar que esta é a sala mais distante da fonte do sinal e com maior número de atenuadores.

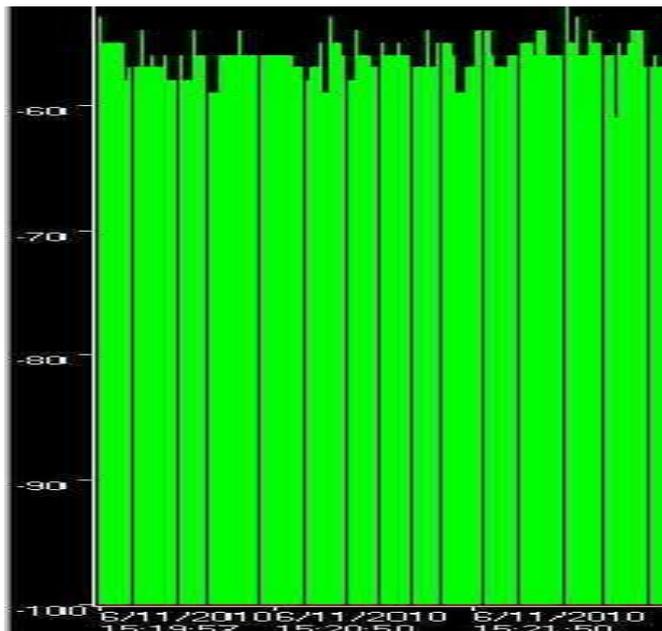


Figura 5.29 - Medição corredor – Netstumbler

Fonte: Do Autor (2010)

A potencia do sinal de recepção manteve-se constantemente na faixa de -60 dBm, uma sensibilidade suficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

Etapa 5- Substituiu-se no roteador a antena de 2dBi pelo cabo irradiante na posição vertical. Realizou-se a seguir as medições do sinal nos mesmos pontos das etapas anteriores e anotados os valores na planilha do *Excel*. Conforme comentado anteriormente, nesta configuração a onda se propaga horizontalmente em relação ao solo.



Figura 5.30 - Roteador-2 com cabo irradiante na posição vertical.
Fonte: Do autor (2010)

Tabela 5.7: Potências de Recepção Teórica e Real (em dBm)

	Potência Teórica	Potência Real
Sala 701	- 71,36	- 81
Sala 702	- 45,24	- 78
Sala 703	- 69,9	- 82
Sala 704	- 69,77	- 86
Corredor	- 73,05	- 75

Fonte: Do autor (2010)

Observando os gráficos gerados pelo *NetStumbler*, que as potências de recepção de sinal mostraram um desempenho inferior ao esperado, com o enlace comprometido em todas as salas e corredor, uma vez a sensibilidade do enlace é de -75 dB. Percebeu-se também que a perda de potência do sinal na sala 702 se

afastou dos valores teoricamente calculados, não repetindo o que ocorreria com o roteador-2 com a antena isotrópica. A sala 704 é a que apresenta a maior perda de potência de sinal. As perdas momentâneas do enlace permanecem nas medidas realizadas com o novo roteador.

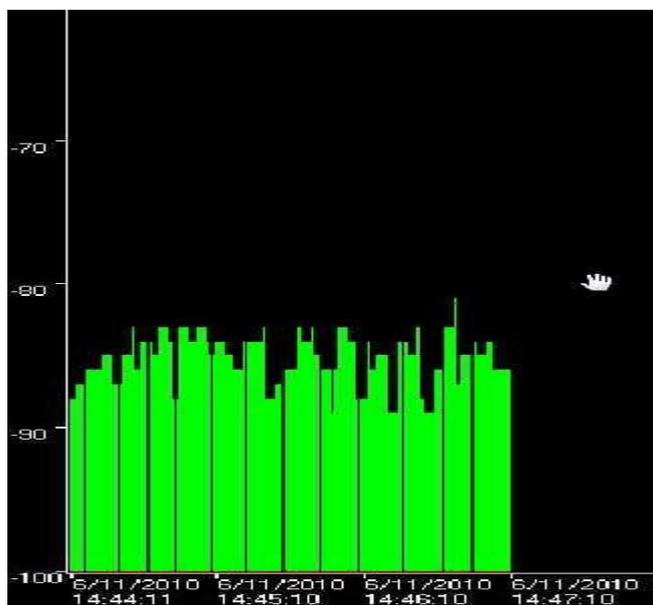


Figura 5.31: Medição sala 701 – Netstumbler

Fonte: Do autor (2010)

A potência do sinal de recepção oscilou entre -80 dBm e -90 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

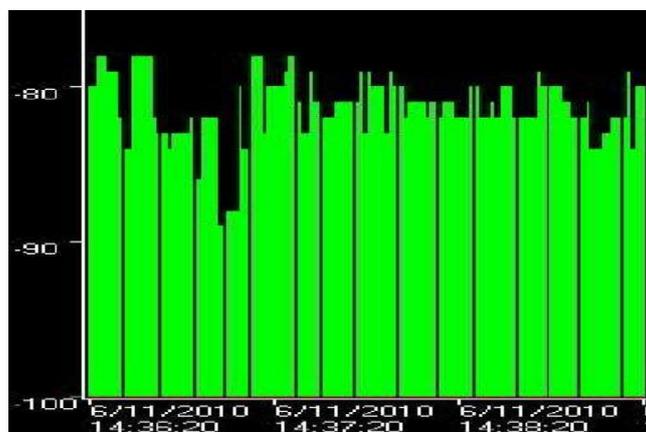


Figura 5.32: Medição sala 702 – Netstumbler

Fonte: Do autor (2010)

A potencia do sinal de recepção oscilou entre -78 dBm e -88 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, mas que não apontou uma quebra do enlace.

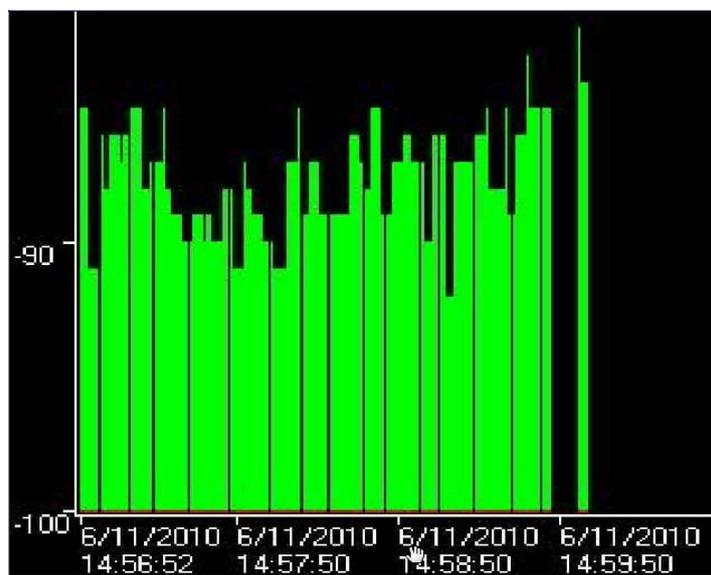


Figura 5.33: Medição sala 703 – Netstumbler

Fonte: Do autor (2010)

A potencia do sinal de recepção oscilou entre -80 dBm e -95 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, inclusive com um intervalo de tempo mais espaçoso. O NetStumbler, porém, não apontou uma quebra do enlace.

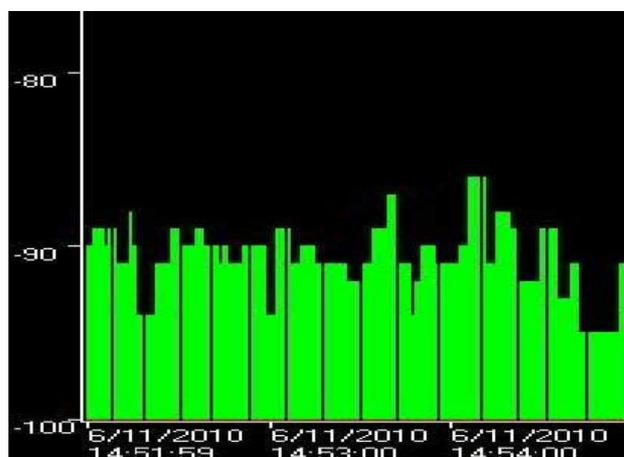


Figura 5.34: Medição sala 704 – Netstumbler

Fonte: Do autor (2010)

A potência do sinal de recepção manteve-se na média de -90 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal, mas sem estouro, segundo o NetStumbler. Deve-se ressaltar que esta é a sala mais distante da fonte do sinal e com maior número de atenuadores.

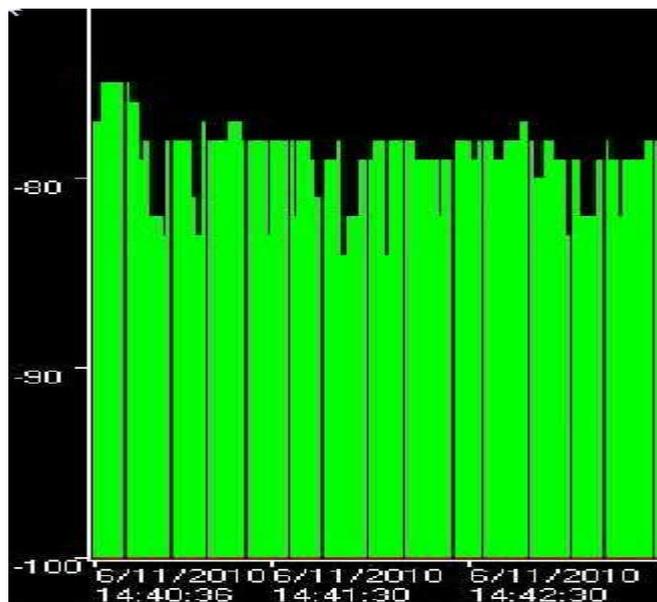


Figura 5.35: Medição corredor – Netstumbler

Fonte: Do autor (2010)

A potencia do sinal de recepção oscilou entre -75 dBm e -85 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se haver um falha constante na recepção do sinal de curto espaço temporal segundo o NetStumbler, que, porém, não apontou uma quebra do enlace.

Etapa 6: Modificou-se o posicionamento do cabo para a horizontal, e repetidas as medições nos mesmos pontos. Conforme comentado anteriormente, nesta configuração a polarização da onda se propaga verticalmente em relação ao solo.



Figura 5.36: Roteador-2 com cabo irradiante na posição horizontal.

Fonte: Do autor (2010)

Tabela 5.8: Potências de Recepção Teórica e Real (em dBm)

	Potência Teórica	Potência Real
Sala 701	- 71,36	- 74
Sala 702	- 45,24	- 83
Sala 703	- 69,9	- 89
Sala 704	- 69,77	+ 160
Corredor	- 73,05	- 73

Fonte: Do autor (2010)

Observando os gráficos gerados pelo *NetStumbler*, nota-se que as potências de recepção de sinal nas salas 702 e 703 não são suficientes para o estabelecimento do enlace. Curiosamente, a sala 702 que não apresenta paredes para atenuar o sinal, se mostra mais fraco do que o sinal da sala 701 ao lado, separada por uma parede. Na sala 704 se percebe a manifestação de um estouro

na medição, com o software registrando valor positivo. As perdas momentâneas do enlace somente permaneceram nas medidas realizadas na sala 704.

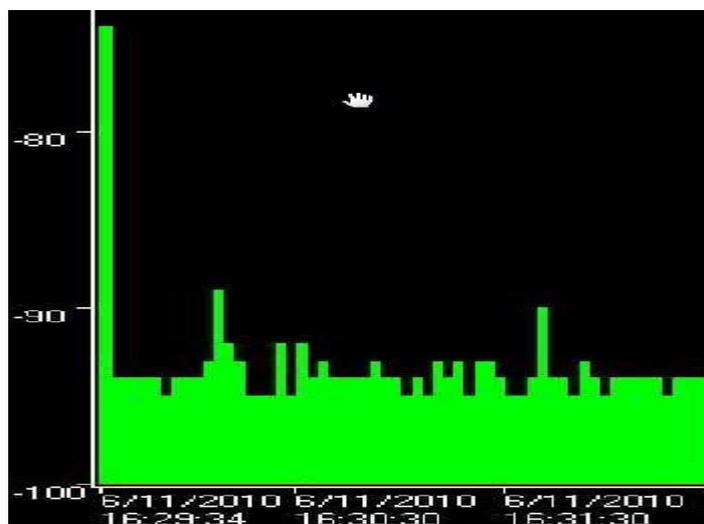


Figura 5.37 - Medição sala 701 – Netstumbler

Fonte: Do autor (2010)

A potencia do sinal de recepção após a primeira medição, manteve-se na média de -95 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se que a recepção do sinal mostrou-se constante segundo o NetStumbler, porém, não apontou uma quebra do enlace.

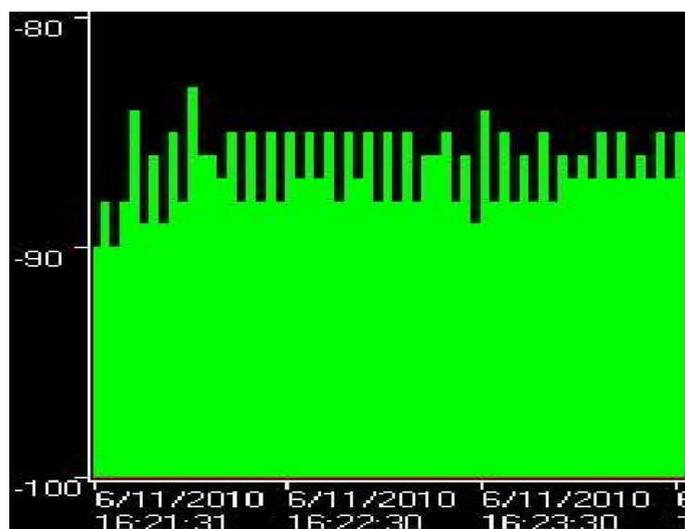


Figura 5.38 - Medição sala 702 – Netstumbler

Fonte: Do autor (2010)

A potencia do sinal de recepção oscilou entre -85 dBm e -90 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se que a recepção do

sinal mostrou-se constante segundo o NetStumbler, porém, não apontou uma quebra do enlace.

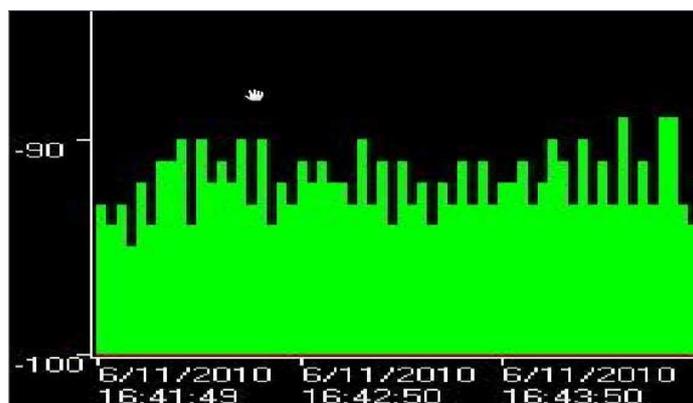


Figura 5.39 - Medição sala 703 – Netstumbler

Fonte: Do autor (2010)

A potencia do sinal de recepção oscilou entre -90 dBm e -95 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se que a recepção do sinal mostrou-se constante segundo o NetStumbler, porém, não apontou uma quebra do enlace.

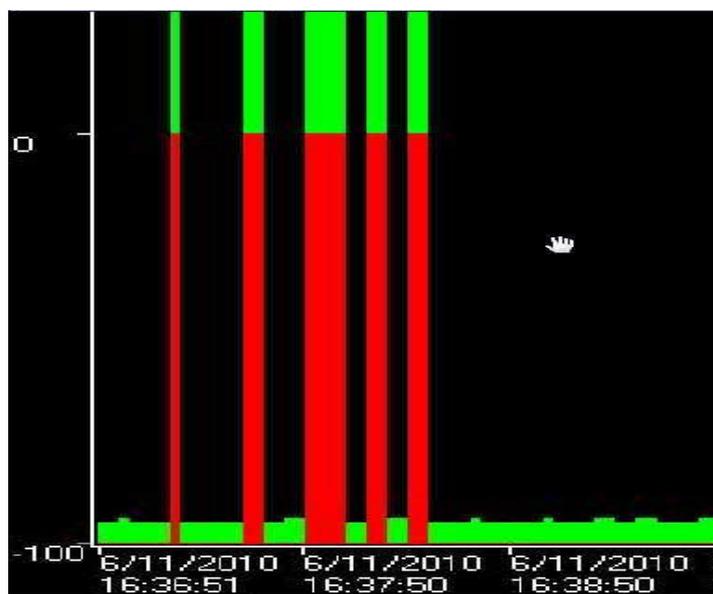


Figura 5.40 - Medição sala 704 – Netstumbler

Fonte: Do autor (2010)

Nesta medição ficou retrato um estouro da potência do sinal de recepção, ou seja, não foi possível estabelecer um enlace entre as pontas de transmissão e recepção.

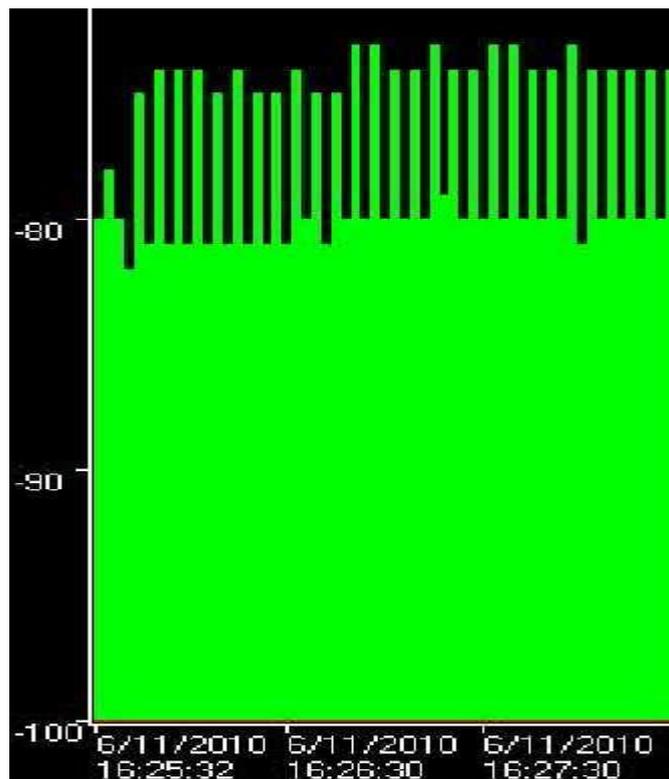


Figura 5.41 - Medição corredor – Netstumbler

Fonte: Do autor (2010)

A potência do sinal de recepção oscilou entre -70 dBm e -80 dBm, uma sensibilidade insuficiente para a obtenção do enlace. Percebe-se que a recepção do sinal mostrou-se constante segundo o NetStumbler, porém, não apontou uma quebra do enlace.

5.3 Análise de resultados

Finalizadas as medições, foi preparada a Tabela 5.9 com a compilação de todos os dados coletados, facilitando, assim, uma melhor visualização e conseqüente comparação.

Tabela 5.9 - Potência de sinal recebida por roteador/posição cabo irradiante (dBm)

	T-R1	T-R2	R1-A	R2-A	R1-V	R2-V	R1-H	R2-H
Sala 701	- 63,36	- 71,36	- 62	- 58	- 81	- 81	- 83	- 74
Sala 702	- 37,24	- 45,24	- 52	- 53	- 72	- 78	- 74	- 83
Sala 703	- 61,9	- 69,9	- 66	- 57	- 79	- 82	- 87	- 89
Sala 704	- 61,77	- 69,77	- 70	- 63	- 84	- 86	- 93	+ 160
Corredor	- 65,05	- 73,05	- 47	- 52	- 75	- 75	- 72	- 73

Fonte: DO AUTOR (2010)

Legendas:

T-R1 – Teórico Roteador 1

T-R2 – Teórico Roteador 2

R1 – A – Roteador 1- Antena

R2 – A – Roteador 2- Antena

R1 – V – Roteador 1 – Cabo Irradiante na Vertical

R2 – V – Roteador 2 – Cabo Irradiante na Vertical

R1 – H – Roteador 1 – Cabo Irradiante na Horizontal

R2 – H – Roteador 2 – Cabo Irradiante na Horizontal

As captações e medidas de sinal foram possíveis em todos os cenários planejados, com a exceção de um, especificamente, com o roteador 2 e cabo irradiante na posição horizontal.

Não houve uma regularidade nas medições da potencia de sinal de recepção quanto a consistência do sinal, ou seja, em alguns momentos se percebeu, na representação gráfica, que o sinal constantemente mas por curto intervalo de tempo, não era captado, porém sem a constatação de estouro e quebra de enlace, e

em outras, manteve-se sem falha alguma. Deve-se ressaltar que este fenômeno ocorreu para os dois roteadores, antena isotrópica e cabo irradiante.

Os gráficos também indicaram que, mesmo quando a potência do sinal era teoricamente inferior à sensibilidade dos modems, o enlace foi estabelecido, porém, como este não era o propósito do projeto, não foram realizados testes para verificar a qualidade da comunicação de dados estabelecida.

Os valores captados com o cabo irradiante na posição vertical se mostraram mais consistentes do que aqueles com o cabo na posição horizontal. Deve-se recordar uma vez mais que o cabo irradiante na posição horizontal não conseguiu estabelecer enlace com o notebook utilizado para as medições na sala 704, a mais distante e com maior número de atenuadores no caminho.

Da comparação dos valores, pode-se verificar que a hipótese adotada neste projeto, de que o desempenho do cabo irradiante deveria ser melhor do que o da antena isotrópica, por oferecer a possibilidade de direcionamento do sinal e não espalhamento circular, se mostrou falsa neste cenário em particular.

Quanto aos roteadores, o roteador padrão IEEE 802.11 b apresentou uma pequena margem de superioridade no desempenho, quiçá desprezível.

Os cálculos teóricos foram muito mais otimistas do que os resultados coletados na prática. Quanto a possíveis explicações para as diferenças poder-se-iam incluir um otimismo exagerado dos fabricantes de modem e antena, assim como valores padrão de atenuação inferiores aqueles encontrados no campo onde foram realizadas as medições.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO

Os cálculos teóricos de perda de sinal apresentaram valores distintos àqueles das medições reais. A qualidade e espessura das paredes causaram uma atenuação maior do que a esperada. A perda do cabo irradiante foi tomada de acordo com as especificações do fabricante, e, assim, foram consideradas confiáveis.

Em relação aos dados reais, pode-se chegar as seguintes conclusões:

- a) Para as redes com antena, o padrão IEEE 802.11b apresentou menores perdas de sinal nos pontos mais próximos da antena e com menos obstáculos, isto é, nas salas 701, 702 e corredor. Já o padrão IEEE 802.11g apresentou menores perdas para os pontos de medição mais distantes e com maiores obstáculos, isto é, nas salas 703 e 704.
- b) Para as redes com o cabo irradiante na posição vertical, as perdas de sinal nos pontos de recepção foram sempre menores ou iguais no padrão IEEE 802.11b. Deve-se ressaltar que os valores captados na sala 702, onde não havia nenhum atenuador, se mostrou maior do que aqueles captados na sala 701 e no corredor, com maior perda na rede padrão IEEE 802.11b.
- c) Para as redes com cabo irradiante na posição horizontal, as perdas de sinal nos pontos de recepção foram menores em três dos pontos de captura na rede de IEEE 802.11b. Deve-se ressaltar que os valores captados na sala 702, onde não havia nenhum atenuador, demonstrou maior perda na rede padrão IEEE 802.11b; e que não foi possível estabelecer conexão / medição na sala 704, a mais distante, na rede padrão IEEE 802.11g.

Pode-se concluir que o padrão de redes sem fio IEEE 802.11b apresentou um melhor desempenho quanto a perdas de potência de sinal na maioria das situações, mas mantendo a conexão. Em relação ao posicionamento do cabo irradiante, as perdas de potência de sinal de recepção foram menores em comparação com o posicionamento na horizontal.

Desta forma, a pergunta orientadora deste projeto demonstrou ser VERDADEIRA, ou seja, o uso de cabo irradiante na posição vertical apresenta menor perda de potência de sinal de recepção em comparação com o cabo na posição horizontal.

Deve-se também ressaltar, uma vez mais, que a hipótese divulgada pelos patrocinadores da tecnologia do cabo irradiante, de oferecer uma maior potência de sinal de recepção em ambientes indoor, no caso específico do primeiro andar o Bloco 7 do UniCEUB, mostrou-se FALSA, ou seja, as potências de sinal de recepção para os roteadores com antena isotrópica de 2.2 dBi foi superior, tanto no padrão IEEE 802.11b quanto no padrão IEEE 802.11g, quando comparadas com o cabo irradiante de 2 metros de comprimento, tanto na posição horizontal quanto na posição vertical.

Esta constatação de falsidade na hipótese demanda por novos estudos e medições em outras configurações arquitetônicas para confirmar se os cabos irradiantes com 2 metros de comprimento, pelo menos no quesito potência de sinal de recepção, são de fato, mais eficientes que as antenas isotrópicas.

REFERÊNCIAS

COMER, Douglas E. **Redes de computadores e internet**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

_____. **Interligação de redes com TCP/IP: protocolos e arquitetura**. Vol.1. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

FERNANDES, Gabriel Seicenti; REGGIANI, Norma. **Modelagem de canal de uma rede sem fio 802.16** - Aplicação no Centro Tecnológico do Campus I da PUC-Campinas. Anais do XIV Encontro de Iniciação Científica da PUC-Campinas - 29 e 30 de setembro de 2009

HAYKIN, Simon; MOHER, Michael. **Sistemas Modernos de comunicação Wireless** - Guia Prático .1ª Ed Sul, 2009

KUROSE, Jim; ROSS, Keith. **Computer Networking: A Top Down Approach** Featuring the Internet, 3rd edition. Addison-Wesley, 2004.

LAZZAROTTO, Patrick. **Algoritmos de roteamento hierárquicos em redes de sensores sem fio utilizando algoritmos evolutivos para determinação de cluster-head's**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. 2008

MEDEIROS, Julio Cesar de Oliveira. **Princípios de telecomunicações princípio e prática**. 2ª Ed. Érica, 2007

MORIMOTO, Carlos. **Redes: Guia Prático**. São Paulo: Ed Sul, 2009

ROSS, John. **O Livro do Wireless: um guia pratico definitivo par WI-FI e redes sem fio**. 2ª Ed. São Paulo: ALTA BOOKS, 2009

SILVEIRA, Jorge Luis da. **Comunicação de dados e sistemas de teleprocessamento**. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991.

TELECO - Tutoriais Banda Larga e Voip. Portal da Internet. **Cabo Irradiante**. Disponível em <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwifi/pagina_3.asp>>. Acesso 15 jun 2010.