

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

ARTHUR CABRAL FERNANDES GUERRANTE GOMES

CONECTIVIDADE PARA UTILIZAÇÃO DE LAPTOPS EDUCACIONAIS

NITERÓI

2010

ARTHUR CABRAL FERNANDES GUERRANTE GOMES

CONECTIVIDADE PARA UTILIZAÇÃO DE LAPTOPS EDUCACIONAIS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Schara Magalhães

NITERÓI

2010

ARTHUR CABRAL FERNANDES GUERRANTE GOMES

CONECTIVIDADE PARA UTILIZAÇÃO DE LAPTOPS EDUCACIONAIS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Telecomunicações

Aprovada em Julho de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. LUIZ CLAUDIO SCHARA MAGALHÃES - Orientador
Universidade Federal Fluminense

Prof^a. Dr^a. DÉBORA CHRISTINA MUCHALUAT SAADE
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. SIDNEY CUNHA DE LUCENA
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. ARTUR ZIVIANI
Laboratório Nacional de Computação Científica

Niterói
2010

Dedico este trabalho a todos que acreditam que a educação é o mais importante passo para o desenvolvimento de um país e de sua sociedade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a minha família por me dar o apoio necessário em todas as minhas escolhas.

Aos meus amigos Luiz Claudio, Keiji, Luana, Joanna e Bruno, por nunca desistirem da minha amizade, apesar da minha falta de tempo.

Aos meus colegas de projeto RUCA: Leonardo Hideki, Raphael Ruiz, Douglas, Elidiane, Thiago, Perdido, William, Jairo, Helga e Otávio.

Aos companheiros do MidiaCom: Clayton, Bruno, Rafael Valle, Álvaro, Maurílio, Cayo, Jean, Joel, Joacir e especialmente Diego, por perder seu precioso tempo inúmeras vezes para me ajudar nas mais diversas tarefas.

Aos companheiros uruguaios do projeto CEIBAL pela valiosa troca de experiências.

À Luciana e Marister, por deixarem o ambiente do MidiaCom sempre mais agradável.

E aos professores Débora Muchaluat, Célio Albuquerque, Ricardo Carrano e Luiz Claudio Schara Magalhães pelo esforço constante em prol do crescimento e reconhecimento do nosso grupo de pesquisa.

*“Anyone who tries to make a distinction
between education and entertainment doesn't
know the first thing about either“*

(Marshall McLuhan)

SUMÁRIO

LISTA DE ACRÔNOMOS, p.14

1 INTRODUÇÃO, p.18

2 TRABALHOS RELACIONADOS E OBJETIVO, p.22

3 OS PAPEIS DO GOVERNO, EMPRESAS E ESCOLAS, p.25

3.1 MODELO 1 – AUTÔNOMO, p.26

3.2 MODELO 2 – CENTRALIZADO, p.27

3.3 MODELO 3 – DESCENTRALIZADO, p.27

3.4 DETALHANDO AS AÇÕES DO GOVERNO FEDERAL, p.28

4 PLANEJAMENTO DE CONECTIVIDADE INDOOR, p.32

4.1 COBERTURA, p.33

4.2 CAPACIDADE, p.36

4.2.1 Limitação de Hardware, p.36

4.2.2 Interferência, p.37

4.3 SITE SURVEY, p.43

4.4 AUMENTANDO A CAPACIDADE E COBERTURA DA REDE, p.48

5 TECNOLOGIAS DE CONECTIVIDADE INDOOR, p.50

5.1 REDE EM MALHA, p.50

5.2 PLC – POWER LINE COMMUNICATION, p.51

5.2.1 Vantagens, p.54

5.2.2 Desvantagens, p.54

5.2.3 Testes com PowerLine Communication, p.55

5.3 CABOS IRRADIANTES, p.60

5.3.1 Vantagens, p.62

- 5.3.2 Desvantagens, p.63
- 5.3.3 Testes com Cabo Irradiante, p.63
- 5.4 COMPOSIÇÃO DE ANTENAS, p.66
 - 5.4.1 Vantagens, p.71
 - 5.4.2 Desvantagens, p.71
 - 5.4.3 Testes com Composição de Antenas, p.71
- 5.5 HOME PNA, p.73
 - 5.5.1 Vantagens, p.75
 - 5.5.2 Desvantagens, p.75
- 5.6 ETHERNET, p.75
 - 5.6.1 Vantagens, p.76
 - 5.6.2 Desvantagens, p.76
- 5.7 CONCLUSÃO SOBRE CONECTIVIDADE INDOOR, p.77

6 PLANEJAMENTO DE CONECTIVIDADE OUTDOOR, p.82

- 6.1 ANTENAS, p.83
- 6.2 PONTOS DE ACESSO, p.86
- 6.3 CABOS, CONECTORES, CAIXA HERMÉTICA E ALIMENTAÇÃO, p.87
- 6.4 AUMENTANDO CAPACIDADE – MÚLTIPLOS APs, p.90
- 6.5 AUMENTANDO COBERTURA – REDES MESH ESPARSAS, p.91

7 TESTES DE CONECTIVIDADE OUTDOOR, p.94

- 7.1 TESTE DE COBERTURA PARA VARIADOS TIPOS DE ANTENAS, p.95
- 7.2 TESTES EM REDES MESH ESPARSAS, p.99
 - 7.2.1 Teste de mesh outdoor, p.100
 - 7.2.2 Testes de mesh indoor, p.101
 - 7.2.3 Testes de mesh indoor, p.109
- 7.3 CONCLUSÃO SOBRE CONECTIVIDADE OUTDOOR, p.114

8 MATERIAL DIDÁTICO, p.118

9 SOFTWARE DE APOIO – bESTPLACE, p.122

- 9.1 FUNCIONAMENTO BÁSICO, p.123

9.2 ARQUITETURA DO SOFTWARE, p.125

9.3 INSTALAÇÃO, p.127

9.4 UTILIZAÇÃO, p.129

9.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O BP, p.136

10 TRABALHOS FUTUROS, p.137

11 CONCLUSÕES, p.140

12 REFERÊNCIAS, p.143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nós dentro da Zona de Transmissão, p.38

Figura 2 - Problema do Nó Escondido, p.39

Figura 3 - Interferência de longo alcance, p.40

Figura 4 - Relação Sinal-Ruído x Taxa de erro de bits para diferentes níveis de modulação, p.42

Figura 5. Canais sobrepostos, p.47

Figura 6 – Instalação de uma rede usando PLCs, p.53

Figura 7 – Instalação de uma rede usando adaptador PLC com Ponto de Acesso integrado, p.53

Figura 8 - Configuração do teste 1, p.57

Figura 9 - Influência da distância na qualidade da rede, p.57

Figura 10 - Configuração do teste 2, p.58

Figura 11 - Influência de descontinuidades na qualidade da rede, p.58

Figura 12 - Configuração do teste 3, p.59

Figura 13 - Influência de cargas na qualidade da rede, p.60

Figura 14 - Desenho de um Cabo Irradiante, p.60

Figura 15 - Cabo Irradiante com conector e terminador, p.61

Figura 16 - Cabo Irradiante com terminador casado, p.62

Figura 17 - Cabo Irradiante sem terminador, p.62

Figura 18 - Cabo Irradiante RCF12-50JFN, p.63

Figura 19 - AP com antena padrão, p.64

Figura 20 - AP com cabo irradiante, p.64

Figura 21 - Composição de antenas com divisor de potência, p.67

Figura 22 - Composição de antenas com acoplador desbalanceado, p.68

Figura 23 - Composição de antenas com amplificador, p.69

Figura 24 - Esquema com Amplificadores e Circuladores, p.70

Figura 26 - Cabo irradiante com antena de 12dBi, p.72

Figura 27 - Adaptador HomePNA PCI, p.73

Figura 28 - Adaptador HomePNA externo, p.73

Figura 29 - Arquitetura do Home PNA, p.74

Figura 30 - Metodologia de planejamento de rede sem fio, p.79

Figura 31 - Cobertura *outdoor*, p.82

Figura 32 - Padrão de irradiação de uma antena omni-direcional de baixo ganho, p.84

Figura 33 - Padrão de irradiação de uma antena omni-direcional de alto ganho, p.84

Figura 34 - Padrão de irradiação de uma antena setorial, p.85

Figura 35 – Padrão de irradiação de uma antena direcional, p.85

Figura 36 – Lóbulo secundário traseiro de uma antena direcional, p.85

Figura 37 - Diagrama de irradiação direcional, p.86

Figura 38 – R-SMA Fêmea, p.88

Figura 39 – RP-TNC Fêmea, p.88

Figura 40 – N-Macho, p.88

Figura 41 – N-Fêmea, p.88

Figura 42 – Cabo RG-58, p.89

Figura 43 – Cabo RG-213, p.89

Figura 44 – Caixa hermética e haste da antena, p.90

Figura 45 - A rede esparsa, p.92

Figura 46 – Omni-direcional 8 dBi, p.96

Figura 47 – Omni-direcional 12 dBi, p.96

Figura 48 – Setorial 12 dBi 60°, p.97

Figura 49 – Setorial 12 dBi 90 °, p.97

Figura 50 – Direcional 19 dBi, p.98

Figura 51 - Cenário de teste na Vila Planetário, p.100

Figura 52 – Primeiro *testbed* com 12 *laptops*, p.102

Figura 53 - Formação de 2 nuvens no primeiro *testbed*, p.103

Figura 54 - Segundo *testbed* com 12 *laptops*, p.104

Figura 55 - Formação de 1 nuvem no segundo *testbed*, p.104

Figura 56 - Resultados do teste de potência, p.108

Figura 57 - Disposição dos nós de testes no Prédio da Engenharia – UFF, p.110

Figura 58 - Rede *mesh* com antena externa nas casas, p.116

Figura 59 - Uso de repetidores *mesh*, p.117

Figura 60 – Cartilha Introdução, p.120

Figura 61 – Cartilha Redes sem fio, p.120

Figura 62 – Cartilha Propagação de ondas, p.120

Figura 63 – Cartilha Antenas, p.120

Figura 64 – Cartilha Planejamento de instalação, p.121

Figura 65 – Cartilha Configuração do ponto de acesso, p.121

Figura 66 – Cartilha Segurança, p.121

Figura 67 – Cartilha Projetos de redes sem fio, p.121

Figura 68. Requisição de captura de *beacons* do servidor aos clientes, p.124

Figura 69. Requisição de resultados do servidor aos clientes, p.125

Figura 70 - Arquitetura do BP, p.126

Figura 71. Janela inicial do programa *BestPlace*, p.130

Figura 72. Preenchimento do campo “*Laptops (IP:Local)*”, p.130

Figura 73. Preenchimento do campo “Local do AP”, p.131

Figura 74 - Preenchimento do campo “Nome da Rede” para rede *indoor*, p.132

Figura 75 - Preenchimento do campo “Nome da Rede” para rede *outdoor*, p.132

Figura 76. Tela de captura iniciada, p.132

Figura 77. Janela de resultados do ponto “corredor (p1)”, p.133

Figura 78. Preenchimento do campo “Local do AP” com a nova localização do AP, p.134

Figura 79. Janela de resultados dos pontos “corredor (p1)” e “corredor (p2)”, p.135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa x Alcance, p.35

Tabela 2. Canais em que opera a frequência 802.11b/g, p.46

Tabela 3 - Comparação dos resultados com e sem Cabo Irradiante, e com Cabo e Antena juntos, p.65

Tabela 4 - Comparação dos resultados sem cabo irradiante e com cabo irradiante com antena, p.72

Tabela 5 - Simulação de capacidade da rede, p.78

Tabela 6 – Perda e Vazão para teste de conectividade *indoor* 1, p.105

Tabela 7 - Latência, Perdas e Vazão na Caracterização da rede fixa, p.111

Tabela 8 - Caminhos escolhidos na Caracterização da rede fixa, p.111

Tabela 9 - Latência, Perdas e Vazão na caracterização da mobilidade sobre rede fixa, p.112

Tabela 10 - Caminhos escolhidos no impacto da mobilidade sobre a rede fixa, p.113

Tabela 11 - Arquivos, localização e permissão, p.128

LISTA DE ACRÔNOMOS

ADSL – Assymetric Digital Subscriber Line

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

AP – Access Point

BP - BestPlace

CEIBAL – Conectividad Educativa de Informática Básica para el Aprendizaje en Línea

CenPRA - Centro de Pesquisa Renato Archer

CERTI – Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras

CSMA – Carrier Sense Multiple Access

CTS – Clear to Send

DS – Distribution System

ESR – Escola Superior de Redes

FUST – Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações

GISELE – Gerenciamento de Infraestrutura e Serviços em Larga Escala

GNU - GNU is Not Unix

HPNA – Home Phoneline Networking Alliance

HTML – HyperText Markup Language

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IP – Internet Protocol

ISM – Industrial, Scientific and Medical

LAN – Local Area Network

LEC – Laboratório de Estudos Cognitivos

LIA – Laboratório de Interação Avançada

LID – Laboratório de Inclusão Digital

LNA – Low Noise Amplificator

LSI – Laboratório de Sistemas Integráveis

MANET – Mobile ad hoc network

MEC – Ministério da Educação e Cultura

OLPC – One *Laptop* Per Child

PC – Personal Computer

PCI – Peripheral Component Interconnect

PLC – PowerLine Communication

PLIC – PowerLine Indoor Communication
PLOC – PowerLine Outdoor Communication
PoE – Power over Ethernet
RFMS – RF Management System
RFS – Radio Frequency Systems
RNP – Rede Nacional de Pesquisa
RSN – Relação Sinal-Ruido
RSSI - Received signal strength indication
RTS – Request to Send
RUCA – Redes de Um Computador por Aluno
SLA – Service Level Agreement
SERPRO - Serviço Federal de Processamento de Dados
SOHO – Small Office Home Office
SSID – Service Set Identification
TCP – Transport Control Protocol
TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação
UCA – Um Computador por Aluno
UDP – User Datagram Protocol
UFF – Universidade Federal Fluminense
USP – Universidade de São Paulo
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos
WDS – Wireless Distribution System
WEP – Wired Equivalent Privacy
Wi-Fi – Wireless Fidelity
Wimax – Worldwide Interoperability for Microwave Access
WMN – Wireless Mesh Network

RESUMO

Este trabalho descreve parte dos estudos do Projeto RUCA, que é parte do Projeto UCA (“Um Computador por Aluno”), e lida com os aspectos técnicos de TIC deste projeto (em contraste com os aspectos pedagógicos do uso de *laptop* nas escolas, estudado por outras vertentes do UCA).

Neste trabalho são citadas outras iniciativas, como o Projeto CEIBAL no Uruguai, o Magalhães em Portugal, e projetos espalhados pelos Estados Unidos, de forma a tirar proveito das experiências já vividas por eles, e ao mesmo tempo aprofundar no estudo técnico sobre a infraestrutura de rede necessária para que projetos deste tipo atinjam todo o seu potencial.

A ênfase deste trabalho será no estudo dos desafios, e possíveis soluções, para instalação de uma infraestrutura de rede sem fio, utilizando a tecnologia Wi-Fi, para dois ambientes: *indoor*, para que os estudantes e professores possam utilizar a rede em ambiente de sala de aula; e *outdoor*, possibilitando o acesso à rede da escola, e à Internet, para os estudantes de suas próprias casas ou arredores da escola.

Devido às dimensões geográficas e populacionais do Brasil, que demandam um grande número de escolas, e na forma a qual a gerência das escolas é dividida em diferentes esferas de governo, este trabalho sugere o uso de um modelo de gestão descentralizado, onde a contratação das empresas responsáveis pelo projeto e instalação da rede sem fio seja feita pelos governos Estaduais e Municipais. O presente trabalho oferece estudos que podem ser usados pelo Governo Federal para elaborar diretrizes e regras que devem ser seguidas pelos elaboradores dos editais para a contratação da instalação da rede, e também um *software*, o *BestPlace*, que pode ser usado para facilitar e tornar mais barata a instalação de redes sem fio nas escolas públicas do Brasil.

ABSTRACT

This thesis describes some aspects of the RUCA project which is part of the UCA (“Um Computador por Aluno” – A Computer per Student) Project, and deals with its technical ICT aspects (in contrast to the pedagogical aspects of deploying laptops at schools, covered by UCA).

The work also describes aspects of other initiatives, like the CEIBAL project in Uruguay, the Magalhães project in Portugal and independent projects in USA. The study revealed the similar needs in all the deployments, and also showed the lack of research on the specific network infrastructure to be deployed, which is extremely important for allowing those projects reach their full potential.

The emphasis of this work is on the study of the challenges and the possible solutions for installing an wireless network infrastructure, using Wi-Fi technology, for two kinds of scenarios: indoor, for the usage in classroom by the students and teacher; and outdoor, allowing Internet access for students inside their own houses, if they live near the school.

Due to Brazil’s physical size and population, which demand a large number of schools, and the way responsibilities are divided among its different levels of government, this work suggest the adoption of a decentralized administration model when hiring the firms to design and install the wireless network, by State and Municipal governments. The present work offers studies that can be used by the Federal Government to set guidelines and rules that should be followed by the public bidding process, and also the BestPlace tool, which was developed to make the task of installing the access points in the Brazilian public schools easier and cheaper.

1 INTRODUÇÃO

É comum associar-se o nível de desenvolvimento de um país ao nível de educação da sua população. Uma das idéias que vem sendo mais discutidas ultimamente é o uso de computadores na educação para auxílio nas atividades pedagógicas e familiarização dos estudantes com tecnologias de TI, tão importantes nos dias atuais. Os aspectos pedagógicos desta idéia já vêm sendo discutidos academicamente há bastante tempo, mas a tecnologia necessária ainda não estava suficientemente madura para grandes implantações. Hoje, com o amadurecimento da tecnologia, diversos países, como Uruguai e Portugal, embarcaram neste projeto.

Em algumas implantações pelo mundo, verificou-se que o uso de *laptops* em sala de aula poderia, pelo menos, motivar os estudantes, diminuindo a evasão escolar e aumentando a atenção às aulas. Apesar de depender, em grande parte, da preparação dos professores para utilizar o potencial do *laptop* em sua plenitude, é possível trazer mais elementos para o processo de aprendizado em sala de aula, estimular o potencial criativo dos alunos e tornar acessível a estes um grande acervo de informações através da grande rede mundial (*World Wide Web*). O pioneiro neste campo foi a organização sem fins lucrativos OLPC (*One Laptop Per Child*) [1], que desenvolveu o *laptop* de baixo custo XO, e vislumbrou o seu uso como uma ferramenta educacional.

A OLPC está baseada em três premissas [1]:

- Aprendizagem e educação de qualidade para todos são essenciais para alcançarmos uma sociedade justa, equitativa, econômica e socialmente viável;
- Acesso a *laptops* móveis em escala suficiente oferecerá reais benefícios para o aprendizado e proporcionará extraordinárias melhorias em escala nacional;

- Enquanto os computadores continuarem sendo desnecessariamente caros, esses benefícios continuarão sendo privilégios para poucas pessoas.

A iniciativa da OLPC de desenvolver um *laptop* de baixo custo e customizado para educação, despertou o desejo de inúmeros Chefes de Estado de comprá-los para as escolas de seus países. O Peru e o Uruguai compraram XOs para serem usados por suas crianças nas escolas. Alguns outros países, como o Paquistão e a Mongólia, receberam os *laptops* através de doações. O Uruguai, recentemente, concluiu a distribuição de 350 mil *laptops* a todos os estudantes da rede pública, sendo o primeiro país a atingir tal meta.

Outras grandes empresas do ramo, vislumbrando o mercado potencial que estava emergindo, também desenvolveram *laptops* de baixo custo. Um segundo ramo de dispositivos criado, inspirado na iniciativa da OLPC, são os *netbooks*, que não precisam ser necessariamente usados para educação. Mas o mercado da educação já é, por si só, enorme. Em Portugal, por exemplo, o *laptop* Classmate, desenvolvido pela Intel, venceu o processo licitatório, foi rebatizado como Magalhaes e está sendo usado nas escolas portuguesas. Na disputa licitatória para escolha do *laptop* que será utilizado no Brasil, o Classmate também foi o vencedor, levando vantagem sobre o Mobilis, da indiana Encore. O *laptop* XO não participou do certame brasileiro por falta de competitividade, devido aos altos impostos submetidos a equipamentos eletrônicos importados.

Além da questão pedagógica, a distribuição, manutenção e aplicação dos *laptops* demandam soluções logísticas bem definidas e planejadas. Da mesma forma, é necessário prover soluções de gerenciamento e monitoramento, e uma complexa infraestrutura de rede sem fio nas escolas. O conjunto de soluções desenvolvido por diferentes países podem ser muito distintas, devido à situação econômica, geográfica, demográfica e política de cada um.

Para estudar a viabilidade do uso dos *laptops* educativos nas escolas do Brasil, foi lançado o Projeto UCA (Um Computador por Aluno), onde diversos projetos paralelos, instanciados em universidades e institutos de pesquisa, estudam os aspectos pedagógicos e técnicos desse desafio.

Algumas instituições focam o aspecto pedagógico, como LSI (Laboratório de Sistemas Integráveis – USP) e o LEC (Laboratório de Estudos Cognitivos - UFRGS), onde já foram feitos trabalhos de introdução do uso de *laptops* em escolas. Os institutos propõem atividades, desenvolvem *softwares* educativos, preparam professores, avaliam a adaptação das crianças aos *laptops*, e o quanto estes estão colaborando para o aprendizado. O LIA (Laboratório de Interação Avançada - UFSCar) também vem desenvolvendo *softwares* educativos.

Outros projetos dedicam-se a questões mais técnicas, como o CERTI (Centros de

Referência em Tecnologias Inovadoras) e o CenPRA (Centro de Pesquisa Renato Archer). O primeiro vem trabalhando na elaboração de *softwares* de gerenciamento. O SERPRO (Serviço Federal de Processamento de Dados) foi incumbido de realizar testes de *hardware* e *software*. O projeto RUCA (Redes de Um Computador por Aluno), também pertence à vertente técnica do UCA, e foi criado, sob a responsabilidade da RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa), para dar apoio ao projeto nas questões relacionadas à rede.

O projeto RUCA teve seu início em 2007, e recebeu contribuição de diversas universidades federais, sob a coordenação técnica da UFF (Universidade Federal Fluminense). Naquela época, redes *mesh*, especialmente a proposta pela OLPC (baseado no IEEE 802.11s [2]), eram pouco conhecidas, e sua eficiência e aplicabilidade deveriam ser provadas. Havia a expectativa de que as redes *mesh* poderiam ser usadas tanto para a rede *indoor*, minimizando o número de pontos de acessos necessários, quanto para a rede *outdoor*, objetivando a inclusão digital da vizinhança da escola. O objetivo principal, então, era testar a rede *mesh* dos *laptops* XO, para dois cenários distintos: dentro de sala de aula; e para inclusão digital (nas casas dos estudantes). Deles decorrem dois tipos de redes: densa e esparsa.

O RUCA investigou questões relacionadas à conectividade e infraestrutura necessárias para o *laptop* XO. Diversos testes foram realizados e eles foram divididos em três partes [3]:

- Capacidades básicas do *laptop* e detalhamento sobre sua interconexão com a infraestrutura
- Desempenho da rede em ambientes com alta densidade de *laptops*
- Desempenho da rede em ambientes com baixa densidade de *laptops*

Como o governo brasileiro estava em processo de compra de 150 mil *laptops* educacionais para um piloto abrangendo 300 escolas públicas, o projeto RUCA foi, então, estendido para uma segunda fase (RUCA 2), e se propôs a desenvolver métodos para prover infraestrutura de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) a essas escolas, e, futuramente, cobrir toda a rede pública de ensino. O RUCA 2 também se preocupou em conceber uma metodologia de instalação, manutenção dos servidores, gerenciamento e monitoramento da rede das escolas de forma mais automatizada e econômica possível, sem prejudicar a qualidade dos serviços.

Tendo em vista que as classes mais pobres da população brasileira - principais beneficiárias das escolas públicas – ainda possuem acesso discado à Internet, ou nenhum acesso, seria deveras interessante se as escolas pudessem oferecer conectividade, fora do horário de aula, à sua vizinhança (casas próximas, praças, etc.) através da instalação de uma

antena no seu topo. Conciliar informatização das escolas e inclusão digital parece altamente sinérgico. Desta forma, um aluno, que possua o *laptop* educacional, poderia obter o acesso sem fio à rede em praças ou em suas próprias casas, desde que esteja próximo à escola. Além dos ganhos educacionais da inclusão digital, o provimento de conexão à Internet para a comunidade vizinha à escola pode trazer outros tipos de impacto, como: maior acesso a informação para os familiares dos estudantes e dinamização da economia local, já que a inserção na rede mundial de computadores se reflete também na inserção em um novo mercado consumidor e produtor. O RUCA 2 também estudou a viabilidade técnica desta proposta.

Atualmente, está em vigor o projeto RUCA 3, onde a RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa), aproveitando os conhecimentos obtidos nas duas primeiras fases do RUCA, coordena gerencialmente e tecnicamente a implantação das redes sem fio *indoor* nas 300 escolas públicas. Também está nos planos do Governo Federal a implantação da rede sem fio *outdoor*, mas esta ficará para uma próxima etapa.

O presente trabalho detalha alguns dos tópicos que foram estudados durante o projeto RUCA 2, para implantação em larga escala de infraestrutura de TIC para *laptops* educacionais. São do escopo deste trabalho: planejar a cobertura de rede sem fio dentro das escolas para prover acesso à Internet, ou ao servidor da escola, aos *laptops* dos alunos e professores; e planejar a cobertura de rede sem fio na vizinhança das escolas, para inclusão digital.

O trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 mostra trabalhos relacionados ao projeto UCA; o Capítulo 3 detalha os papéis do Governo, empresas e funcionários das escolas na implantação do projeto RUCA; os capítulos 4 e 5 mostram estudos e testes de tecnologias que podem ser usadas na conectividade sem fio dentro da escola (*indoor*); os capítulos 6 e 7 mostram estudos e testes de tecnologias que podem ser usadas na conectividade sem fio à vizinhança da escola (*outdoor*); materiais didáticos produzidos para funcionários e autoridades locais são mostrados, de forma sintética, no Capítulo 8; o Capítulo 9 apresenta o *software* BestPlace que pode ser usado no planejamento de instalação de rede sem fio indoor e outdoor; trabalhos futuros são propostos no Capítulo 10; e por último, conclusões sobre o trabalho são feitas no Capítulo 11.

2 TRABALHOS RELACIONADOS E OBJETIVO

Diversos trabalhos relatam o planejamento, experiência de uso de *laptops* educacionais nas escolas e os impactos pedagógicos e sociais, em vários países do mundo.

O artigo “*Seeing No Progress, Some Schools Drop Laptops*”, publicado no *New York Times* [4], posiciona-se de maneira cética à adoção de projetos do tipo “um computador por aluno” (*one-to-one computing enviroments*). O texto mostra estudos de institutos americanos e depoimentos de diretores de escola criticando os custos envolvidos, os reais benefícios pedagógicos, a baixa aceitação por parte dos professores, e constantes defeitos nos dispositivos e na rede.

No entanto, em [5], o autor enfatiza que os objetivos, experiências, receptividade e resultados de um projeto deste tipo podem variar bastante em função da escola ou sociedade beneficiária. O que pode ter um impacto baixo em um país desenvolvido como os EUA, em que os alunos já estão inseridos digitalmente, e os professores possuem uma mentalidade mais conservadora, pode seguir um caminho diferente em países com menor nível de desenvolvimento, como o Brasil e Uruguai.

O mesmo trabalho, através das lições aprendidas com o uso de *laptops* em escolas de variados estados e províncias dos Estados Unidos, apresenta uma abordagem sistêmica considerada fundamental para o sucesso do projeto, evitando os problemas evidenciados em [4]. Tal abordagem divide as etapas de implantação do projeto em cinco áreas: Planejamento, Treinamento e Desenvolvimento Profissional, *Hardware* e *Software*, Gerência de Transição, e Monitoramento e Avaliação do Programa. Dentre os pontos mais importantes, o trabalho lista: produção de conteúdo digital e *softwares* didáticos, e padronização desses últimos para

redução de custo e facilitação do planejamento de treinamento de uso; uso de múltiplas fontes de financiamento, através de parcerias com empresas privadas e outras esferas de governo; elaboração de um termo de conduta para o uso apropriado do *laptop* pelos estudantes e familiares; parceria com universidades no treinamento dos professores, alunos e familiares, para que eles possam usufruir melhor os recursos computacionais. As Universidades também poderiam colaborar com estudos de casos, realimentando o sistema com informações que possam ser úteis nos planejamentos futuros; importância de uma rede operacional e constante manutenção do sistema; escolher escolas voluntárias para elaboração de projeto piloto, e utilizá-las, posteriormente, como casos de sucesso para incentivo às outras escolas na aceitação do projeto; e utilização gradual dos equipamentos em sala de aula, para uma adaptação menos traumática no sistema de ensino.

Estudos sobre utilização de dispositivos de comunicação sem fio em sala de aula para tornar a aula mais interativa, e, com isso, aprimorar e dinamizar a experiência de aprendizado dos estudantes é o escopo de [6]. Em [7], é apresentado o projeto ENLACE, em que é tirado proveito da mobilidade dos dispositivos computacionais sem fio para realizar trabalhos de campo. Outros estudos, como apresentados em [8], vislumbram os possíveis impactos sociais e econômicos que a distribuição de *laptops* educacionais para famílias pobres, no Brasil, podem causar em suas comunidades.

A experiência de uso dos *laptops* XO no projeto CEIBAL, do Uruguai, são detalhadas em [9] e [10]. Os dois trabalhos tratam com otimismo o impacto pedagógico e social da distribuição dos *laptops* aos estudantes da rede pública daquele país. Dentre os pontos positivos, são citados: o aumento da colaboração e troca de informações entre os alunos dentro de sala de aula; e o aumento de interesse, tanto dos alunos, quanto dos familiares, pela leitura e produção de conteúdos. Em [10], também é exposta a preocupação no treinamento dos professores para que eles saibam lidar com o excesso de informações presentes na Internet, sabendo identificar fontes confiáveis de conteúdo. Um ponto negativo lembrado nos dois trabalhos é a fragilidade de alguns componentes de *hardware* do *laptop* XO.

Um ponto em comum entre a maioria dos trabalhos já publicados é a falta de detalhamento sobre os desafios técnicos, e propostas de soluções, para provimento de conectividade sem fio a estes *laptops*. Apesar de vários trabalhos apontarem a conectividade como ponto crucial para o sucesso do projeto, eles enfocam, com maior ênfase, as questões pedagógicas, logísticas e de gestão. Algumas exceções são: [11], que propõe o uso de uma infraestrutura de *backbone* sem fio, utilizando redes *mesh*, para interligação dos pontos de

acesso dentro das escolas; e o artigo [12], que mostra estudos e alternativas para provimento de conectividade dentro e fora das escolas públicas brasileiras, para utilização de *laptops* educacionais em ambiente de aula, e para inclusão digital, respectivamente. O trabalho também propõe uma plataforma de gerenciamento e monitoramento centralizado e automatizado, baseado no PlanetLab [13] e [14], que pode reduzir consideravelmente os custos e o tempo de implantação e manutenção do sistema.

Esta dissertação buscará através da apresentação dos trabalhos produzido pelo Projeto RUCA aprofundar os temas discutidos em [12] no que tange conectividade *indoor* e *outdoor*, suprir a carência na literatura de estudos técnicos relacionados às configurações e infraestrutura de rede sem fio para cenários similares ao do Projeto UCA, discutir as responsabilidades das diferentes esferas de poder no Brasil na gestão do Projeto e propor aplicações dos estudos técnicos apresentados levando em consideração os diferentes modelos de gestão que podem ser utilizados.

3 OS PAPÉIS DO GOVERNO, EMPRESAS E ESCOLAS

Um projeto de implantação em larga escala de infraestrutura de TIC para *laptops* educacionais, como o UCA, pode ser dividido em um conjunto de ações:

- Conexão da escola à Internet
- Compra de equipamentos de TIC
- Projeto de conectividade sem fio dentro da escola
- Projeto de conectividade sem fio para a vizinhança da escola (Inclusão Digital)
- Instalação da infraestrutura de TIC necessária
- Treinamento dos funcionários das escolas
- Gerenciamento e monitoramento da infraestrutura instalada
- Manutenção e Suporte

Cada uma destas ações deve ser delegada aos agentes responsáveis: órgãos governamentais (federais, estaduais ou municipais), operadoras ou empresas de projetos em telecomunicações e aos funcionários das escolas. A atribuição das ações aos agentes varia de acordo com o modelo de gestão de projeto que for adotado pelo País.

É importante que a definição do modelo seja feita na primeira etapa do projeto, de modo que parte das ações possa ser feita em paralelo. Sem uma definição prévia do modelo a ser adotado, muitas tarefas podem sofrer atraso apenas pelo fato de elas ainda não estarem delegadas a um agente específico.

Neste capítulo serão apresentados três possíveis modelos, que se distinguem pelo grau de centralização no Governo Federal da condução do projeto. Será apresentado o modelo utilizado pelo Uruguai, o país em que o projeto de uso de *laptops* educacionais nas escolas está mais avançado, um modelo que foi pensado no início do projeto UCA e um terceiro modelo, que é posto por este trabalho como o mais apropriado para o Brasil.

3.1 MODELO 1 – AUTÔNOMO

Neste modelo, o Governo Federal ficaria responsável por licitar apenas a compra de equipamentos que serão necessários: *laptops*, pontos de acesso, servidor da escola, etc. Os equipamentos seriam entregues às escolas, e estas ficariam responsáveis pela instalação da rede sem fio. Esta proposta de modelo foi levantada durante os fóruns de discussão e *workshops* do projeto UCA para tornar o processo de implantação de redes sem fio mais rápido e barato, pois evitaria entraves burocráticos para repasse de verbas e contratação de empresas para elaboração de projetos e instalação. Portugal usa um modelo similar a esse.

No entanto, como os funcionários das escolas não têm conhecimento técnico em redes de computadores, algumas iniciativas precisariam ser tomadas pelo Governo para auxiliá-los a executar tal tarefa sem que a qualidade do projeto seja prejudicada, tais como:

- Elaboração de modelos de projeto que possam satisfazer uma porcentagem relevante das escolas, sendo necessários apenas pequenos ajustes para sua adequação a cada escola.
- Provimento de ferramentas de *software* que facilitem o processo de instalação.
- Material didático explicando o básico do funcionamento e conceitos de planejamento de instalação de redes sem fio.

A conexão da escola à Internet seria provida pelas operadoras locais através de um acordo com o Governo Federal, que será explicado adiante.

A tendência é que esse modelo não seja adotado como padrão, devido à baixa aceitação dos funcionários das escolas ao mesmo – deveria haver um esforço de aprendizado técnico de uma área completamente alheia ao seu trabalho. Ao mesmo tempo, há a possibilidade de que, mesmo com os *softwares* de apoio, projetos pré-moldados e material didático, os funcionários não sejam capazes de montar uma rede funcional, pondo em risco o projeto como um todo, já que a conectividade é um ponto crucial para o macroprojeto educacional.

No entanto, nada impede que o Modelo Autônomo seja usado em conjunto com algum outro modelo. Por exemplo, se a entrega dos equipamentos for feita antes do projeto daquela escola, e esta possua algum funcionário com domínio técnico suficiente ou colaboradores que o tenha, ela poderá adiantar-se ao processo e instalar os equipamentos, ganhando um tempo

de espera que poderia ser longo.

Mesmo que esse cenário possa parecer improvável, se ele corresponder a 1% dos casos – porcentagem plausível, já que muitas escolas possuem técnicos em informática –, isso já representaria uma considerável economia ao Governo, devido à dimensão do projeto.

3.2 MODELO 2 – CENTRALIZADO

Este é o modelo utilizado pelo Uruguai. A idéia básica é centralizar a criação de projetos e terceirizar a instalação. O Governo Federal é o responsável por licitar a compra dos equipamentos e o serviço de instalação dos projetos de rede. O Governo também assume grande parte das outras ações necessárias.

A conexão da escola com a Internet é dada através da operadora de telecomunicações estatal, e o projeto da infraestrutura de rede, assim como a manutenção da mesma, é feita pelo projeto CEIBAL (*Conectividad Educativa de Informática Básica para el Aprendizaje en Línea*) [15], órgão criado pelo Governo Uruguaio especificamente para o projeto.

Este modelo é perfeitamente adaptável ao Uruguai, que possui dimensões geográficas e populacionais pequenas. No entanto, para o Brasil, a instalação da rede sem fio em todas as escolas públicas do País pode ser um processo extremamente caro e demorado caso o Governo assuma a tarefa de realizar um projeto customizado para cada uma, como no Uruguai.

A diferença de organização política entre os dois países é outro fator que sugere a adoção de práticas distintas. O Uruguai possui apenas duas esferas de Poder (federal e municipal), tornando mais simples a condução, por parte do Governo Federal, das questões burocráticas e ideológicas do projeto. Além do mais, todas as escolas públicas do Uruguai estão sob administração do Governo Federal. No Brasil, devido às três esferas de Poder (federal, estadual e municipal), tanto os Estados como os Municípios possuem uma independência maior na construção de seus modelos educacionais. Na prática, o Brasil possui escolas públicas sob administração das três esferas, e cada uma com suas próprias ideologias pedagógicas e condutas administrativas.

3.3 MODELO 3 – DESCENTRALIZADO

O modelo proposto por este trabalho como sendo o ideal para o Brasil é o descentralizado. Neste modelo, o Governo Federal seria o encarregado de licitar a compra de equipamentos que serão obrigatoriamente necessários e que não dependam do modelo de conectividade escolhido: *laptops* e servidores da escola. Já o encargo de licitar os serviços de elaboração do projeto e instalação da infraestrutura de TIC nas escolas seria feito pela instância governamental responsável por cada uma delas. Por exemplo, os Governos estaduais licitariam a contratação de empresas para criação do projeto e instalação dos equipamentos nas escolas públicas estaduais.

Para que o Governo Federal continue tendo controle sobre o andamento do projeto, as licitações das instâncias inferiores devem seguir diretrizes e normas estabelecidas por ele. Faria-se então um convênio entre os Governos. Nesse convênio, a liberação de verbas para a contratação dos serviços estaria completamente atrelada ao cumprimento das regras e modelos técnicos estabelecidos pela instância superior do Governo.

A principal motivação para a exigência de tais regras é evitar que os Governos estaduais e municipais fujam das diretrizes traçadas para o projeto, ou que produzam editais falhos que resultariam em aumento de custos e, até, na inviabilidade técnica de implantação do projeto em sua plenitude.

A conectividade da escola com a Internet dar-se-ia da mesma forma do Modelo Autônomo. O acordo entre as operadoras locais e o Governo Federal será explicado adiante.

3.4 DETALHANDO AS AÇÕES DO GOVERNO FEDERAL

Esta seção visa a descrever, com mais detalhes, o papel do Governo Federal na preparação da infraestrutura de TIC das escolas públicas para o uso de *laptops* educacionais. Serão considerados apenas os Modelos Autônomo e Descentralizado, que podem ser usados juntos para o cenário brasileiro, mas a ênfase será dada ao último, visto como ideal pelo presente autor.

O papel do Governo Federal deve ir muito além da licitação para compra dos equipamentos. A questão do provimento de banda larga às escolas públicas, por exemplo, já foi equacionada através de um acordo entre o Governo Federal e as operadoras de

telecomunicações. As operadoras estão utilizando as verbas do FUST (Fundo de Universalização das Telecomunicações) – fundo governamental mantido através da cobrança de uma taxa de 1% sobre o valor das contas de telefonia fixa desde 2000 e criado para subsidiar investimento em telecomunicações em lugares remotos do País – para prover conexão ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) em banda larga a todas as escolas do Brasil. O Governo considera que, no momento, esse é o uso mais adequado para o fundo. O acordo assegura que até o final de 2011 todas as escolas do Brasil sejam contempladas com a banda máxima comercializada no local, o que hoje dificilmente ultrapassa 1 Mbps.

No Modelo Autônomo, foi listada uma série de ações atribuídas ao Governo para auxiliar os funcionários das escolas na instalação dos equipamentos de TIC. Caso o Governo Federal opte por profissionalizar a execução dos projetos de infraestrutura de rede nas escolas, seguindo o Modelo Descentralizado, o produto dessas atividades, com algumas alterações, pode ser útil para diversos propósitos:

- Planejamento de conectividade

O Governo deve realizar estudos sobre os desafios de um projeto em larga escala de conectividade sem fio para dentro (*indoor*) e fora da escola (*outdoor*). Questões como o levantamento dos possíveis cenários arquitetônicos das escolas brasileiras, a metodologia de elaboração de projeto para cada cenário, o comportamento do usuário quanto à mobilidade e requisito de banda, a área de cobertura externa à escola que deve ser contemplada e tecnologias que podem ser usadas para auxiliar a conectividade, servirão como base para que o Governo Federal determine as regras e diretrizes que os Governos estaduais e municipais devem seguir na contratação dos serviços.

A centralização do planejamento de conectividade também traria o benefício de padronizar os projetos, facilitando o gerenciamento da rede depois de instalada, evitando que o resultado final do projeto oferecido pela empresa contratada não se alinhe às necessidades do cenário da escola, ou aos custos do Governo Federal, e garantindo certos requisitos de funcionamento. O papel do Governo Federal, desta forma, seria a de órgão de normatização para uma execução descentralizada.

- Material didático

De forma semelhante ao Modelo Autônomo, a geração de conteúdo didático

continuará tendo valia, já que é importante que os funcionários das escolas tenham familiaridade com a tecnologia, para que possam usufruir melhor dos seus benefícios e, até mesmo, realizarem pequenas manutenções caso haja necessidade.

O material deve explicar, de forma simplificada e didática, os conceitos básicos do funcionamento de redes sem fio, ilustrar possíveis problemas com os quais o projetista de rede e os usuários podem deparar-se, e explicar a função de alguns equipamentos que serão instalados na escola, como pontos de acesso e antenas.

O material didático serviria também como apoio às autoridades locais (municipais ou estaduais), ou diretores das escolas, para validação do projeto realizado pelas empresas contratadas.

- Planejamento pós-instalação

Depois de instalada a infraestrutura de TIC nas escolas, o Governo deve estar preparado para mantê-la funcionando em boas condições. Em uma empreitada com a escala do UCA, monitoramento e gerenciamento centralizado é vital para o sucesso do projeto. Alguns itens importantes a serem constantemente observados são o servidor da escola, a rede sem fio e a conexão oferecida pelo provedor de Internet.

O Governo Federal deve cobrar, como requisito nos editais dos processos licitatórios estaduais ou municipais, que a infraestrutura instalada pela empresa contratada seja compatível com os métodos de gerenciamento e monitoramento planejados.

- Softwares de apoio

O Governo Federal pode criar *softwares* que facilitem a instalação da rede sem fio dentro e fora da escola. Esses *softwares* poderiam ser oferecidos *a priori* no processo licitatório com o objetivo de aumentar a afluência de empresas aptas a executar os projetos e, consequentemente, conseguir preços menores. O uso desses *softwares* não precisa ser necessariamente obrigatório pelas regras do convênio.

A tarefa de gerenciamento de monitoramento também demanda a utilização de *softwares* especiais. A utilização de um *software* livre, criado pelo Governo, traria flexibilidade e economia de custo ao projeto.

O projeto RUCA trabalhou em todas essas frentes, e os capítulos seguintes abordarão com mais detalhes três delas: planejamento de conectividade, material didático e *softwares* de apoio. Este trabalho também apresentará testes que foram realizados para os estudos de planejamento de conectividade *indoor* e *outdoor*, e alguns *softwares* que estão sendo criados para auxiliar nas atividades listadas acima.

4 PLANEJAMENTO DE CONECTIVIDADE INDOOR

Entende-se por conectividade indoor o fornecimento de acesso à Internet para todos os *laptops* que serão oferecidos aos estudantes, ou qualquer outro dispositivo sem fio que os funcionários ou professores possam utilizar dentro da escola. A tecnologia de conectividade recomendada para as escolas é a instalação de redes sem-fio baseadas no padrão IEEE 802.11 [16], por suas características econômicas (equipamentos de baixo custo e banda de frequência não licenciada) e pelo suporte a mobilidade.

É certo que as escolas contempladas pelo projeto UCA apresentarão diversidades arquitetônicas, por serem localizadas em diferentes regiões e diferentes datas de construção. Elas podem variar não apenas em dimensão física ou em número de pavimentos, mas também em termos de materiais, espessuras de paredes, instalação elétrica, presença de portões metálicos, ou tipo de teto, dentre outros traços construtivos. Algumas escolas poderão funcionar em prédios antigos, e até mesmo tombados, ou em regiões onde o fornecimento de energia elétrica seja instável. A densidade de usuários da rede (alunos, professores e funcionários) pode variar entre uma e outra, e até mesmo aspectos aparentemente irrelevantes, como a presença de árvores nos pátios da escola, podem determinar a viabilidade técnico-econômica de uma solução de cobertura. Por conta disso, acredita-se que é extremamente improvável que um mesmo modelo de distribuição de conectividade seja suficiente para atender a todos os casos.

Se, por um lado, modelos universais para as redes sem fio são improváveis, por outro lado modelos de referência podem ainda ser construídos com o objetivo de traçar linhas gerais que orientem os funcionários das escolas na realização de um projeto de redes sem fio, caso seja usado o Modelo Autônomo, ou ofereça um parâmetro contra o qual propostas das empresas contratadas possam ser contrastadas, se utilizado o Modelo Descentralizado. Uma rede sem fio Wi-Fi que seja muito discrepante dessas linhas gerais, apesar de possível para alguns casos muito especiais, deve chamar a atenção dos contratantes.

Acredita-se que a instalação de um único ponto de acesso em local estratégico atenderá uma grande parcela das escolas brasileiras, principalmente as rurais que possuam

menos de 50 alunos por turno - segundo o censo escolar de 2007, 29% das escolas de Ensino Fundamental do Brasil possuem menos de 30 alunos. Esse seria, portanto, um modelo óbvio de projeto. No entanto, casos onde sejam necessários mais pontos de acesso exigirão soluções complementares ou particulares, levando à criação de outros modelos.

Mesmo o Governo brasileiro não sendo responsável pela elaboração dos projetos de conectividade, como no Uruguai, é importante que estudos sejam feitos sobre os desafios e possíveis soluções para esses projetos com o intuito de fornecer aos editais do contratante dados técnicos suficientes para garantir que o serviço satisfaça os requisitos de qualidade e custo e, assim, se alinhe às diretrizes traçadas pelo Governo Federal.

Para a elaboração de projetos de conectividade sem fio, é preciso tratar em separado a questão da cobertura, que diz respeito às áreas da escola “iluminadas” pela rede sem fio, e a questão da capacidade, que diz respeito à quantidade de acessos simultâneos que a rede deve ser capaz de suportar. Uma escola pode estar inteiramente coberta e ainda assim prover uma experiência de uso frustrante devido à incapacidade da rede em suportar um número grande de usuários. Um bom projeto de rede sem fio deve buscar maximizar a área de cobertura de um ponto de acesso, para diminuir o número de pontos de acessos necessários, reduzindo custos – tema que será discutido na Seção Cobertura – e maximizar o número de clientes que a rede suporta, visto que muitos usuários utilizarão a rede da escola simultaneamente – assunto que será tratado na Seção Capacidade.

Este capítulo também apresentará uma metodologia para elaboração de projetos de redes sem fio levando em consideração as questões levantadas sobre cobertura e capacidade, e introduzindo as tecnologias que podem ser usadas para auxiliar tal tarefa.

4.1 COBERTURA

Alcance do sinal de uma rede sem fio é a distância máxima com que um equipamento é capaz de trocar informações com uma rede sem fio. A área de cobertura é aquela limitada pelo alcance em todas as direções. A cobertura de qualquer rede sem fio é função da potência de irradiação, da sensibilidade de recepção do rádio, do ganho das antenas do ponto de acesso e dos *laptops*, das atenuações na propagação do sinal e das interferências eletromagnéticas presentes no ambiente.

Em uma rede IEEE 802.11b/g formada por *laptops* e pontos de acesso comuns, com

potência de irradiação de 18 dBm e antenas de 2 dBi (configuração presente na maioria dos dispositivos Wi-Fi), o alcance de comunicação pode chegar a 500m [17]. Dispositivos IEEE 802.11a possuem alcance menor, pois operam na frequência de 5,4GHz, diferentemente da faixa de 2,4GHz utilizada pelas emendas “b” e “g” - frequências mais altas sofrem maior atenuação de propagação (atenuação de espaço livre).

Alguns pontos de acesso especiais possibilitam o uso de *array* de antenas e potência de transmissão mais alta. As duas medidas podem aumentar consideravelmente o raio da área de cobertura, mas deve-se ter cuidado com a última, pois a Anatel possui regras que delimitam o nível de potência que pode ser usado para equipamentos de radiação restrita (que utilizam bandas ISM) [18].

Na prática, a área de cobertura em um ambiente indoor é bem menor do que a exposta acima, cerca de 50 metros, pois as paredes, móveis e até pessoas representam obstruções na propagação do sinal, inserindo uma enorme perda na potência do sinal (atenuação por obstrução). As frequências mais altas também sofrem mais com esse tipo de atenuação, pois possuem grau de penetração e capacidade de contornar os obstáculos (difração) menores.

No entanto, utilizar a emenda “a”, que utiliza a faixa de 5 GHz, poderia ser vantajoso em um cenário onde há muita interferência na faixa de frequência utilizada pelo IEEE 802.11b/g. Os dispositivos que utilizam as emendas “b” e “g” são muito mais populares que os da emenda “a”, razão pela qual a faixa de frequência de 2,4 GHz é mais congestionada. Muitos equipamentos domésticos, como babás eletrônicas, telefone sem fio, microondas e dispositivos Bluetooth também utilizam a frequência de 2,4 GHz. Outra vantagem da emenda “a” é a possibilidade de uso de 12 canais ortogonais – as emendas “b” e “g” suportam apenas 3 -, o que diminuiria a interferência entre os pontos de acesso dentro da mesma rede. A nova emenda “n” também possibilita a utilização da faixa de frequência de 5 GHz, provendo as mesmas vantagens da emenda “a”, com a vantagem de oferecer uma banda ainda maior. Como os *laptops* que serão comprados pelo Governo Federal – e a grande maioria dos laptops de baixo custo - não são compatíveis com a emenda “a” e “n”, todo o estudo apresentado nesta Dissertação considerará o uso apenas das emendas “b” e “g”.

Algo importante a observar é que um ponto de acesso não oferece a mesma qualidade de comunicação aos *laptops* dentro de toda a sua área de cobertura. O IEEE 802.11 oferece uma gama de taxas de transmissão, e a escolha da taxa é feita automaticamente por um algoritmo escolhido pelo fabricante de acordo com a qualidade do enlace. Quanto mais alta a

taxa, maior a sensibilidade do rádio, isto é, maior será a potência necessária para recebimento do quadro com sucesso e, conseqüentemente, menor o alcance. A Tabela 1 mostra essa relação para um AP popular. Quando o AP oferece taxas próximas a todos os *laptops* que estão utilizando a rede, é dito que a rede é homogênea. Esse conceito de rede homogênea será abordado com maior ênfase na Seção Capacidade.

Emenda	Taxa de transmissão	Sensibilidade do rádio	Alcance
802.11b	1 Mbps	-96 dBm	~50 m
802.11b	2 Mbps	-93 dBm	~40 m
802.11b	5,5 Mbps	-92 dBm	~35 m
802.11b	11 Mbps	-87 dBm	~25 m
802.11g	6 Mbps	-92 dBm	~40 m
802.11g	9 Mbps	-89 dBm	~30 m
802.11g	12 Mbps	-87 dBm	~25 m
802.11g	18 Mbps	-86 dBm	~22 m
802.11g	24 Mbps	-83 dBm	~20 m
802.11g	36 Mbps	-78 dBm	~16 m
802.11g	48 Mbps	-74 dBm	~13 m
802.11g	54 Mbps	-72 dBm	~10 m

Tabela 1 – Taxa x Alcance

Os valores de alcance da Tabela 1 são aproximados. Na realidade, o alcance de uma rede sem fio varia para cada cenário em função dos equipamentos utilizados, dos traços arquitetônicos, e interferência presente no ambiente. As inúmeras reflexões que o sinal sofre em um ambiente indoor é outro fator que torna a cobertura da rede ainda mais imprevisível. Por conta disso, é muito comum que sejam feitos testes reais de medição do sinal para visualizar a cobertura da rede sem fio. Os testes de propagação do sinal de rádio, que medem

a intensidade do sinal em cada ponto, são procedimentos que devem estar presentes no *site survey*. Adiante, veremos como o *site survey* auxilia no planejamento de uma rede sem fio mais eficiente.

4.2 CAPACIDADE

Um grande número de *laptops* no mesmo ambiente, como o uso previsto em sala de aula, pode causar diversos problemas para a rede que influenciam na capacidade da mesma em prover conectividade a todos esses usuários. Os principais fatores que delimitam a quantidade de usuários suportados por uma rede são:

- Limitação de *hardware* do ponto de acesso;
- Alto grau de interferência no ambiente devido à alta densidade da rede.

A capacidade da rede deve ser a primeira questão a ser avaliada em um projeto de rede para escolas. Fazer o levantamento do número de alunos por turno e da banda necessária para as atividades que serão aplicadas com os *laptops* são informações primordiais para a escolha do modelo e quantidade de pontos de acessos que serão necessários para prover uma boa conectividade para todos os usuários.

4.2.1 Limitação de Hardware

Os pontos de acesso possuem uma limitação no número de clientes que suportam. Essa é uma limitação de *hardware* do dispositivo para processar ou armazenar dados e estados, concomitantemente, da associação de um grande número de clientes. Pontos de acesso *customer-grade* (ou SOHO – *Small Office/Home Office*), como os modelos mais populares da D-Link [19] e Linksys [20], suportam por volta de 30 clientes apenas.

Se, por exemplo, o projeto propõe o uso desses pontos de acesso de baixo custo – pontos de acesso de prateleira que custam menos de R\$200,00¹ - e existe necessidade de

¹ Preço de 2010.

oferecer acesso concomitante a duzentos alunos, a utilização de apenas um ponto de acesso é claramente insatisfatória. Nesse caso, o projeto necessitará da instalação de mais APs, como por exemplo, um ou mais por sala de aula.

Uma alternativa para não aumentar demasiadamente o número de APs é o uso de equipamentos mais robustos, que suportam um número bem maior de usuários, no entanto, eles são bem mais caros. Testes realizados no projeto CEIBAL demonstraram que alguns pontos de acesso *enterprise* suportam o uso concomitante de até 100 usuários.

4.2.2 Interferência

Uma grande preocupação do projeto RUCA era saber como um *laptop* se comporta em um cenário com muita interferência. Interferência pode causar colisões e contenção no acesso ao meio, devido ao compartilhamento de espectro. Ambos resultam em degradação na qualidade de comunicação.

Colisões resultam em perda de quadros e retransmissão dos mesmos, o que diminui a eficiência da rede. No caso de transmissões em TCP, a perda de quadros tem um efeito ainda pior. O TCP interpreta a perda como congestionamento na rede (herança das redes cabeadas) e como contramedida diminui sua taxa de transmissão no nível de transporte.

O padrão IEEE 802.11 possui alguns mecanismos para evitar colisões. Observe o seguinte exemplo: Quando os nós em atividade estão dentro da zona de transmissão um dos outros, como na Figura 1, o 802.11 resolve o problema com o mecanismo de acesso ao meio CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*). Este mecanismo funciona através da escuta do meio. No exemplo da Figura 1, se A estiver transmitindo para o ponto de acesso, B consegue escutar esta transmissão e deve esperar até o meio ficar livre para poder transmitir.

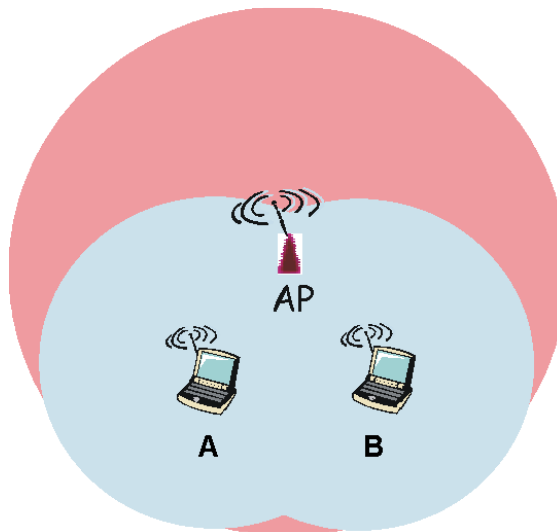


Figura 1 - Nós dentro da Zona de Transmissão

Se uma transmissão estiver em andamento entre dois nós, e um terceiro desejar transmitir para o nó receptor da transmissão em curso, mas está fora da zona de transmissão (área de cobertura) do nó transmissor daquela transmissão, ocorre o problema conhecido como Nó Escondido. A Figura 2 ilustra este cenário. Os nós A e B estão fora da zona de transmissão um do outro. Se o nó A estiver transmitindo para o Ponto de Acesso e o nó B também desejar transmitir para o Ponto de Acesso, ele o fará, por não conseguir ouvir A, e causará uma colisão no nó central. O RTS/CTS foi criado para solucionar este problema. Este mecanismo funciona com trocas de pacotes para pedido de reserva do meio, RTS (*Request To Send*), e autorização da reserva, CTS (*Clear To Send*). No caso da Figura 2, antes do nó A transmitir para o Ponto de Acesso, ele envia um RTS, e recebe como resposta um CTS. O nó B, ao ouvir o CTS, sabe que o meio estará ocupado por um determinado período de tempo especificado no pacote de controle, e não transmitirá durante este período.

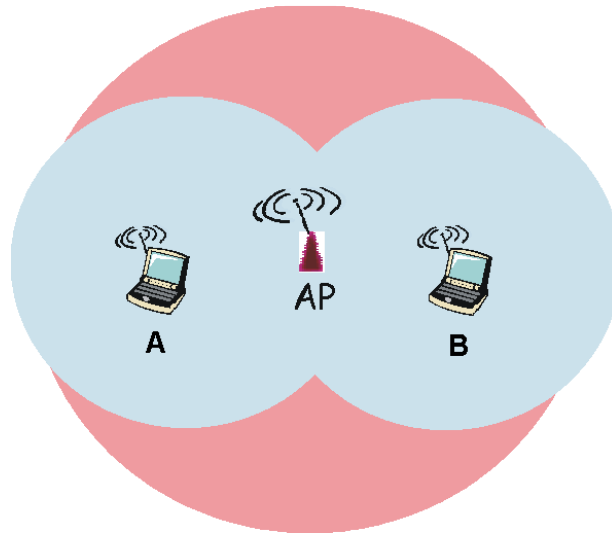


Figura 2 - Problema do Nó Escondido

Há ainda outro cenário de interferência, onde a interferência é causada por um nó que está fora da zona de transmissão de todos os nós que estão em atividade em um exato momento. A Figura 3 ilustra este caso, chamado de interferência de longo alcance. Se A ou B estiverem transmitindo para o ponto de acesso, e o nó C começar uma transmissão para qualquer outro nó, este causará uma interferência de longo alcance no ponto de acesso. Este problema acontece por dois motivos: primeiro, porque C não escuta a transmissão dos nós A ou B e nem o CTS respondido pelo ponto de acesso; e, segundo, porque a potência necessária para um sinal causar colisão em outra transmissão é menor que a necessária para que o pacote da transmissão da primeira seja recebido com sucesso [21]. Em síntese, a zona de interferência de um nó é maior que a sua zona de transmissão.

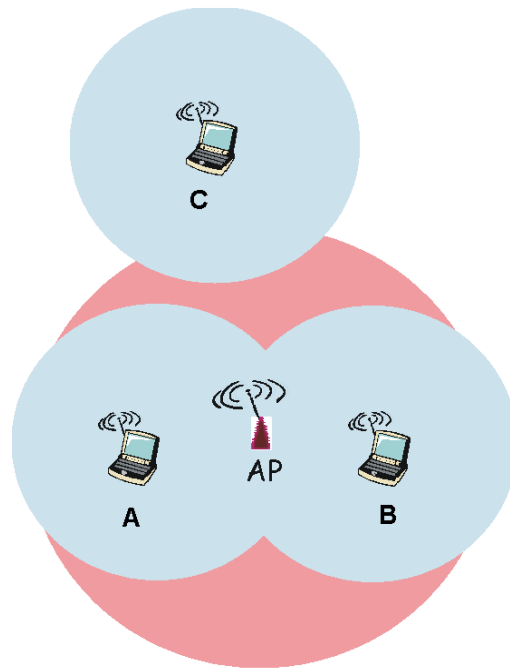


Figura 3 - Interferência de longo alcance

Muitos estudos ([21][22][23][24]) mostram que o RTS/CTS não deve ser usado, pois ele não consegue remediar todos os tipos de interferência – como a interferência de longo alcance, por exemplo – além de causar uma ineficiência ainda maior na rede, já que a transmissão dos quadros de RTS e CTS deve ser feita em taxas baixas, ocupando por muito tempo o meio.

Ao tentar evitar colisões, o CSMA/CA procura evitar que dois nós transmitam ao mesmo tempo, contendo o acesso de outros usuários durante o período em que a rede está ocupada. Com isso, a banda também é compartilhada entre todos os usuários através de uma multiplexação temporal não determinística.

O padrão IEEE 802.11g é capaz de oferecer uma taxa de transmissão de até 54 Mbps, no entanto, o *throughput* real é de, no máximo, 30 Mbps (utilizando UDP) devido ao *overhead* dos cabeçalhos dos protocolos envolvidos e ao mecanismo de *stop and wait* utilizado para retransmissão na camada MAC. Utilizando TCP, o *throughput* máximo cai para cerca de 22 Mbps devido ao controle de congestionamento, além dos outros fatores já citados. Esta capacidade é dividida entre os usuários que estão acessando a rede no momento, isto é, quanto mais clientes associados a um AP, menor será a banda disponível a cada um.

Calculando de forma simplista, e considerando que um aluno precise de 500 kbps para acessar páginas *web* com velocidade aceitável, um ponto de acesso ofereceria essa velocidade a, no máximo, 40 usuários. No entanto o processamento do ponto de acesso a cada recebimento e envio de quadros também insere uma perda no desempenho da rede, limitando ainda mais esse número máximo de usuários suportados. Na realidade, a banda é dividida apenas entre os usuários que estão ativos em dado momento, e não entre todos os que estão associados. Portanto, para cálculos de capacidade, também é importante realizar o estudo do comportamento de uso da rede pelos estudantes.

A informação descrita na Seção 4.2.1 sobre a capacidade dos APs *enterprise* e o cálculo do parágrafo anterior são para clientes associados na taxa máxima oferecida pelo Wi-Fi, 54 Mbps. Cabe aqui uma explicação melhor sobre como é escolhida a taxa de transmissão pelos *laptops* e APs.

Os dispositivos que seguem o padrão IEEE 802.11 possuem um algoritmo de seleção de taxa, que pode variar em cada fabricante. O algoritmo seleciona a taxa mais alta possível para que, naquele ambiente em específico, os quadros consigam ser decodificados no receptor. Quanto mais alta a taxa, maior é o nível de modulação usado pelo rádio, e, consequentemente, maior é a Relação Sinal-Ruído necessária para a decodificação do sinal no receptor, ou em outras palavras, mais difícil é sua recepção. A Figura 4 mostra a variação da taxa de erro de bit dada a Relação Sinal-Ruído (E_b/N_0) para diferentes níveis de modulação.

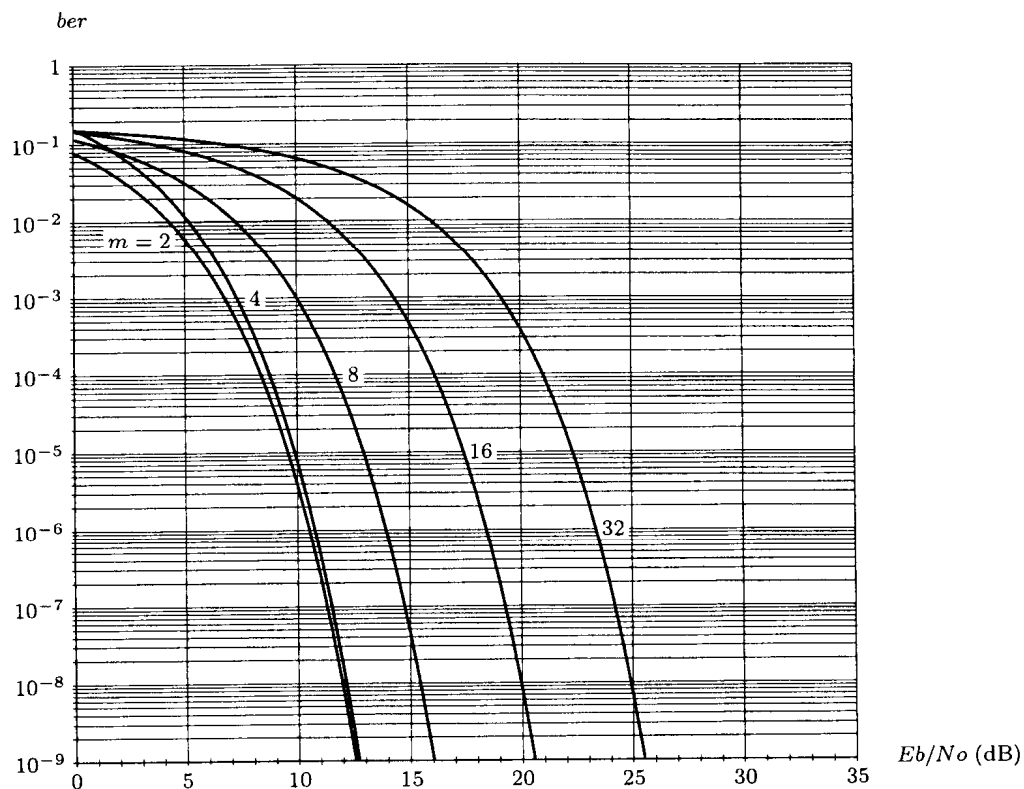


Figura 4 - Relação Sinal-Ruído x Taxa de erro de bits para diferentes níveis de modulação

Com isso, quanto mais longe estiverem os *laptops* clientes, menor será a taxa de associação deles, e maior será o tempo que estes nós ocuparão o meio para transmitir seus dados, diminuindo a eficiência na utilização do espectro. Em síntese, a capacidade da rede está diretamente ligada à taxa com que os *laptops* estão associados ao ponto de acesso. Em alguns pontos de acesso, a presença de apenas um cliente utilizando uma taxa baixa pode levar toda a rede a trabalhar nessa mesma taxa. Portanto, para redes com muitos usuários, é desejável que todos os clientes estejam associados a taxas altas, e, para isso, a cobertura da rede deve ser homogênea.

Contudo, cobertura homogênea não é suficiente para garantir que toda a rede se associe em taxas próximas (e altas de preferência). É possível que um ponto de acesso instalado dentro de uma sala de aula, onde todos os *laptops* estejam distanciados igualmente dele, opere em taxas baixas ou diferentes para cada cliente. Isso ocorre porque a maioria dos algoritmos utiliza estatísticas de perda de quadros para determinar a taxa que será usada [25]. Por exemplo, se em determinado momento um *laptop* se comunica com o ponto de acesso utilizando uma taxa de 54 Mbps e quadros são perdidos, os dispositivos diminuem a taxa até

que as perdas cessem. O contrário ocorre quando uma sequência de quadros é enviada sem perda; então, os dispositivos interpretam o sucesso da transmissão como oportunidade para aumentar a taxa de transmissão. Algoritmos dessa categoria não funcionam bem em uma rede com muita interferência, já que perdas nesse caso não são sempre causadas pela degradação do sinal, mas geralmente por colisões com os quadros transmitidos pelos vizinhos. A redução da taxa nesse cenário não resolve a causa das perdas, pelo contrário, pode inclusive aumentá-las, já que os dispositivos ocupam o meio por mais tempo para transmitir em taxas baixas, aumentando a proporção de transmissões mal sucedidas em relação às bem sucedidas.

Percebe-se então que taxas altas são importantes para o aumento da capacidade da rede por dois motivos: diminuem o impacto das colisões e tornam mais eficiente o compartilhamento de banda do canal. Mas para garantir que a rede opere somente em taxas altas, além da cobertura homogênea, é aconselhável configurar os APs para assim trabalharem.

Por motivos semelhantes, é desejável que o modo de compatibilidade do AP para a emenda “b” seja desabilitado. Quando habilitado o modo de compatibilidade, os primeiros bits de cada quadro, chamado preâmbulo e utilizados para sincronização das estações, são enviados nas taxas básicas da emenda b – taxas mais baixas - para permitir que as estações operando nessa emenda sejam capazes de interpretar o sinal, o que diminui a eficiência da rede.

4.3 SITE SURVEY

Durante o *site survey* são coletadas informações referentes à disponibilidade de espaço físico, alimentação elétrica, aterramento, passagem de cabos, e outros detalhes que possam ter impacto no projeto e instalação da rede sem fio. Dentre as condições estudadas e documentadas estão também os aspectos referentes à infraestrutura e transmissão, identificação de equipamentos já existentes no local, condições ambientais e de utilização do espectro de rádio, rede de dados, número de usuários e locais previstos de uso da rede sem fio.

Através do *site survey* é possível determinar a localização, configuração e a quantidade de Pontos de Acesso necessários em cada escola, considerando cobertura, número de usuários e tráfego previsto de forma a proporcionar as funcionalidades requeridas e apresentar desempenho compatível com o investimento realizado.

O planejamento de uma rede sem fio difere do planejamento de uma rede com fio devido à forma como o sinal de rádio se propaga. Em uma rede cabeada, estima-se o número de usuários em cada local e se faz um cabeamento estruturado, distribuindo tomadas em quantidades e localidades adequadas para atender a essa demanda inicial e acomodar o crescimento da rede. Na rede sem fio, não é mais evidente em quais locais o acesso será possível, porque isso depende dos traços arquitetônicos e condições ambientais, dentre outros fatores.

Os testes de propagação do sinal de rádio, que medem a intensidade do sinal em cada ponto, tornando possível uma previsão da cobertura da rede, são realizados durante o *site survey*. Nesta seção será visto como o *site survey* auxilia no planejamento de uma rede sem fio mais eficiente.

Existem instruções básicas que podem orientar a realização de um *site survey*, como mostram os seguintes parágrafos:

1. **Definição de requisitos da rede.** Entrevistar o contratante, ou beneficiário do serviço, para avaliar os locais onde deve ser feita a cobertura e o número previsto de usuários para cada área prevista de cobertura. No caso das escolas, locais óbvios de cobertura são as salas de aula e a biblioteca, mas outros locais podem também ser de interesse do diretor da escola.

Nesta etapa, deve ser dimensionada a capacidade da rede e, conseqüentemente, determinada a quantidade de APs e outros equipamentos de rede necessários, com base na estimativa de número máximo de usuários por turno, por ambiente, número de salas e na largura de banda a ser disponibilizada a cada usuário

2. **Conseguir uma planta do local.** Através da planta é possível identificar os locais onde é desejada a cobertura de rede sem fio. Elementos arquitetônicos como paredes, portas e outras estruturas devem ser consideradas na escolha dos pontos de instalação dos APs. Caso haja uma infraestrutura de rede cabeada já instalada no prédio, é desejável que essa esteja representada na planta, assim como a rede elétrica e telefônica. Estas informações são importantes para determinar os locais mais viáveis para a instalação do AP.

3. **Percorrer fisicamente as instalações.** A inspeção do prédio permite conferir o que é informado pela planta e, ao mesmo tempo, detectar alguns detalhes arquitetônicos não registrados como paredes espessas ou de metal, plantas, móveis, etc.

Devem ser também confirmados detalhes da sala onde serão instalados os equipamentos (servidor, *switch* e *nobreak*), disponibilidade de espaço em racks existentes, caminhos de passagem de cabos e locais adequados para instalação dos equipamentos.

A qualidade da instalação elétrica deve ser avaliada nesta etapa. Deverá ser verificada a existência e a qualidade de disjuntores no painel elétrico, aterramento, passagem das fiações elétrica e tomadas.

4. **Deteção de interferência externa.** Interferência externa ocorre quando redes sem fio próximas, ou outros equipamentos irradiantes, operam na mesma faixa de frequência da rede a instalar, prejudicando o seu funcionamento. Para medi-la, deve-se utilizar um analisador de espectro que registre o nível de potência de todos os sinais provenientes de equipamentos que irradiam na mesma faixa de frequência das redes Wi-Fi. Possíveis fontes de interferência para uma rede Wi-Fi são: dispositivos *Bluetooth*, fornos de microondas, telefones sem fios que operem na banda dos 2.4 GHz, ou outras WLANs que operem na mesma área de cobertura da rede que vai ser instalada. É conveniente que todos os equipamentos do prédio, que possam ser fontes de interferências, sejam ligados no momento dos testes.
5. **Determinar uma posição preliminar para cada ponto de acesso.** Baseado na planta e na inspeção do local, dividir a área de interesse em zonas de cobertura. Colocar um ponto de acesso por zona, de forma que cada zona satisfaça os requisitos de capacidade e que a cobertura dentro dessa zona seja a mais homogênea possível. Por exemplo, se não houver grandes obstruções na zona, ele deve ser colocado próximo ao meio desta. Deve-se dar preferência a locais altos e pertos de ponto de rede e energia.
6. **Planejamento de frequências.** É fundamental configurar cada AP para operar no canal onde foi observada a menor interferência naquele local. APs vizinhos também interferem entre si e devem ser configurados em canais diferentes, obrigatoriamente em canais ortogonais (canais não sobrepostos – 1, 6 e 11).

Cada um dos 11 canais alocados ao IEEE 802.11 tem uma largura de banda de 22 Mhz, e a gama de frequências disponível se estende de 2.412 GHz até 2.462GHz, como mostra a Tabela 2.

Canal	Frequência GHz
1	2.412
2	2.417
3	2.422
4	2.427
5	2.432
6	2.437
7	2.442
8	2.447
9	2.452
10	2.457
11	2.462

Tabela 2. Canais em que opera a frequência 802.11b/g.

A Figura 5 apresenta um esquema com os 11 canais definidos pelas normas 802.11 “b e g” na banda ISM. Pode-se perceber mais facilmente pela figura que os canais adjacentes apresentam certo nível de sobreposição. Como os canais não são completamente isolados no espectro de frequência, todas as redes 802.11 que utilizem canais com algum nível de sobreposição podem sofrer problemas de interferência. Apenas três canais, os canais 1, 6 e 11, não apresentam sobreposição e podem ser

utilizados ao mesmo tempo por redes distintas na mesma região sem que ocorra interferência.

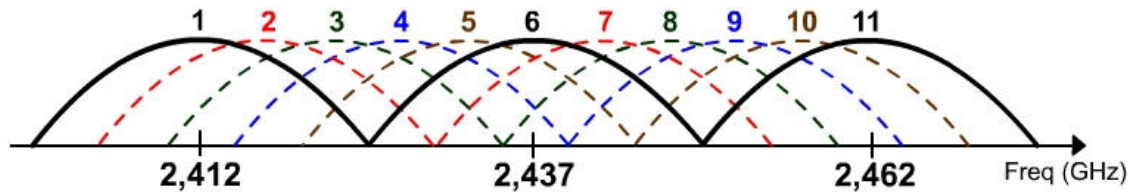


Figura 5. Canais sobrepostos

Caso dois APs próximos precisem ser configurados em um mesmo canal, devido ao reúso de frequência – caso que ocorrerá em escolas médias e grandes –, a potência de transmissão dos mesmos deve ser eventualmente diminuída.

A princípio, mesmo quando for utilizada a solução de controladores e Thin APs – dispositivos que oferecem gerenciamento automático de potência e frequência –, o planejamento manual de canais de operação e potência deverá ser adotado. Testes reais precisam ser realizados para verificar a eficiência destes mecanismos no ambiente de escola.

7. **Medição de sinal nas áreas de interesse.** Para determinada localização escolhida para o AP, devem ser feitas medições de potência de sinal provenientes do AP em toda a área de interesse de cobertura. Caso haja sinal em um nível aceitável de potência por toda a região desejada, pode-se dizer que a posição do AP foi bem escolhida. Caso contrário, deve-se escolher outro ponto de instalação de AP e realizar novamente as medições. Considera-se sinal bom aquele que permita a recepção na maior taxa do padrão utilizado (54 Mbps/g e 11 Mbps/b).

É importante a observação de que, dependendo do *hardware* e *software* de captura, a interferência do ambiente estará embutida no valor de potência do sinal medido. O valor correto a ser medido seria a relação sinal-ruído. Outra abordagem é medir a qualidade do enlace através de testes de vazão ou perdas de quadros.

Idealmente, o *site survey* deve ser feito usando os mesmos equipamentos que serão usados na instalação final, pois existe uma dependência na medição, não só da antena do ponto de acesso como da antena dos equipamentos.

4.4 AUMENTANDO A CAPACIDADE E COBERTURA DA REDE

Quando a simples instalação de um ponto de acesso não é suficiente para cobrir toda a escola ou o número de usuários é maior que a capacidade da rede, o planejamento da rede exige medidas mais complexas.

Para aumentar a área de cobertura, algumas alternativas podem ser adotadas:

- Criação de mais zonas (ou células) de cobertura;
- Transpor barreiras físicas através de um meio de propagação confinado;
- Uso de redes em malha (redes *mesh*);
- Uso de antena com maior ganho;
- Uso de maior potência de transmissão.

Deve-se ter parcimônia ao utilizar as duas últimas opções. Uma antena de alto ganho não necessariamente implica melhor cobertura. É importante que o padrão de irradiação da antena seja adequado ao cenário em questão; se isso implica o aumento do ganho da antena, o projetista deve considerar a hipótese de trocar a antena do AP. Quanto ao aumento de potência, esta não é uma prática adequada, pois pode infringir as regras impostas pela Anatel para os equipamentos de radiação restrita [26].

Para aumentar a capacidade da rede, primeiro deve-se investigar o principal limitador. Caso a capacidade seja restringida por limitação do AP, a adição de um novo ponto de acesso é necessária. Caso o problema seja apenas interferência e compartilhamento de banda, deve-se primeiro trabalhar para tornar a rede mais homogênea, caso isto não seja suficiente, também é necessária a adição de novos pontos de acesso. Para os dois casos, é necessária a utilização de outras tecnologias:

- PLC, Ethernet ou HomePNA para conectar fisicamente os novos APs;
- Elementos passivos, como Cabos Irradiantes ou Composição de Antenas, para manipulação da densidade ou pontos de irradiação de sinal.

Observe que os caminhos sugeridos para solucionar a questão de capacidade também são úteis para o aumento de cobertura. A adição de novos pontos de acesso significa a criação de mais zonas, e o uso de elementos passivos envolve a propagação em meio confinado, uso de antena de maior ganho e até criação de novas zonas de cobertura.

No Capítulo 5 será discutido como algumas tecnologias de apoio podem ser usadas para estender a área de cobertura Wi-Fi ou aumentar a capacidade da rede em um ambiente *indoor*. Serão descritos seu funcionamento, padrões vigentes, assim como vantagens e desvantagens de cada tecnologia para o cenário do projeto RUCA.

5 TECNOLOGIAS DE CONECTIVIDADE *INDOOR*

5.1 REDE EM MALHA

Uma forma barata de estender a cobertura de uma rede sem fio é através de redes em malha. Em uma rede em malha, ou rede *mesh*, cada nó passa a exercer função de roteador. Com isso, um *laptop* apto a exercer as funcionalidades de nó *mesh* (implementando o IEEE 802.11s [2], por exemplo) pode servir como *gateway* para outro *laptop* que esteja fora da área de cobertura do ponto de acesso instalado na escola. Vale lembrar que os *laptops* que serão adquiridos pelo Governo para o projeto UCA deverão obrigatoriamente possuir essa capacidade.

As redes *mesh*, por ser uma rede *ad-hoc*, possibilitariam também a comunicação entre os *laptops* mesmo na ausência de um ponto de acesso. Esta conectividade dentro da sala de aula, mesmo sem acesso à Internet, é de grande serventia, do ponto de vista pedagógico. Cursos poderiam ser preparados para usufruir deste recurso como, por exemplo, tornando as aulas mais interativas. O professor faria perguntas que os alunos responderiam via rede, e em tempo real poder-se-ia avaliar o grau de aprendizado da classe.

Apesar do benefício do aumento de cobertura sem custo adicional algum, já que a infraestrutura usada para aumento da cobertura seriam os próprios *laptops* educacionais, e da possibilidade de comunicação entre os *laptops* na ausência de um AP, estudos apresentados em [27] mostram que os *laptops* desenvolvidos pela OLPC, com funcionalidade *mesh* habilitada, geram um exagerado número de pacotes de gerenciamento, que acabam prejudicando bastante o desempenho da rede em um ambiente com muitos *laptops* (rede densa). O autor do referido trabalho sugeriu algumas mudanças nos parâmetros de configuração de rede do XO de modo a diminuir esse tráfego e melhorar a qualidade da rede. No mesmo trabalho, verificou-se que as rotas escolhidas em um ambiente congestionado nem

sempre são boas, causando retransmissões desnecessárias e, conseqüentemente, mais interferência. Apesar de não terem sido testados outros modelos de *laptops*, são esperados que tais características sejam comuns em qualquer dispositivo que utilize funcionalidades de *mesh* implementados na camada MAC, já que utilizam protocolos de descoberta de caminhos similares.

Foi verificado também que, em uma rede sem fio com múltiplos saltos, como as redes *mesh*, o uso do mecanismo de prevenção de colisão RTS/CTS é ainda menos recomendado [28] do que em redes infraestruturadas. O mecanismo, além de ocupar um tempo considerável do canal (*airtime*), não previne todos os tipos de colisões e ainda inibe algumas transmissões que poderiam ser bem sucedidas.

Por conta da falta de adaptação das redes *mesh* inserem em ambientes altamente interferentes, inserindo ainda mais interferência, é desaconselhável o uso dessa tecnologia em ambiente *indoor*. A Seção 7 mostrará que as redes *mesh* podem ser mais úteis em ambientes de rede esparsa, para conectividade *outdoor*.

5.2 PLC – POWER LINE COMMUNICATION

PLC é a tecnologia utilizada para transmitir dados através dos cabos da rede elétrica, aproveitando a infraestrutura de cabos elétricos existente no local, sem necessidade de obras ou outras alterações. Em alguns lugares, PLC também pode ser chamado de *Broadband Power Line* (BPL).

A tecnologia PLC pode ser dividida em duas grandes categorias:

- PLIC - *Power Line Indoor Communicaton*: sub-categoria onde estão os equipamentos PLC de uso doméstico, utilizados em residências, escritórios, hotéis, escolas e outros ambientes fechados. Esta modalidade é a que se enquadra no projeto RUCA.
- PLOC - *Power Line Outdoor Communication*: sub-categoria onde estão enquadrados os equipamentos para uso em ambientes abertos. Essa sub-categoria é mais voltada a empresas de energia elétrica que querem oferecer acesso à Internet a seus assinantes e , por isso, não será aprofundada, por fugir do escopo deste projeto.

Na tecnologia PLC, existem vários padrões com o objetivo de transmitir dados através da rede elétrica. Muitos desses padrões são criados por organizações internacionais como IEEE ou alianças internacionais entre empresas, como *HomePlug* [29] e OPERA (*Open PLC European Research Alliance*) [30]. Algumas dessas organizações colaboram entre si, como é o caso da *HomePlug* e IEEE, que juntos estão desenvolvendo o padrão internacional de PLC, IEEE P1901[31].

O padrão mais estável e difundido no mercado é o *HomePlug*. Por este motivo, ele será nosso objeto de estudo nesta Dissertação. O padrão *HomePlug* é definido por várias versões que se diferenciam, geralmente, pela taxa de transmissão de dados e aplicações, descritas a seguir:

- *HomePlug* 1.0 – Velocidade (teórica): 14 Mbit/s. Especificação para conexão de aparelhos PLC de uso doméstico (PLIC).
- *HomePlug* 1.0 Turbo - Velocidade (teórica): 85 Mbit/s. Especificação para uma conexão mais rápida de aparelhos PLC de uso doméstico (PLIC).
- *HomePlug* AV - Velocidade (teórica): 189 Mbit/s. Desenvolvido para transmissão de HDTV e VOIP em ambientes fechados (PLIC).
- *HomePlug* Access BPL – Em desenvolvimento (PLOC)
- *HomePlug* Command & Control – Para automação residencial (PLIC)

Alguns fabricantes utilizam protocolos proprietários para atingir taxas de 200 Mbps.

Para que a rede elétrica de uma escola se transforme em uma rede de dados, basta ligar os equipamentos PLC nas tomadas comuns e conectar as suas interfaces ethernet às placas de rede dos computadores, pontos de acessos ou *modems* com cabos de rede. Se um dos equipamentos conectados ao PLC estiver conectado à Internet (*cable modem* ou *modem* ASDL, por exemplo), todos os outros equipamentos conectados à rede elétrica, através do PLC, também estarão também conectados a ela.

A Figura 6 demonstra como é feita a instalação de uma rede usando adaptadores PLC.

Diagrama de Rede Típica

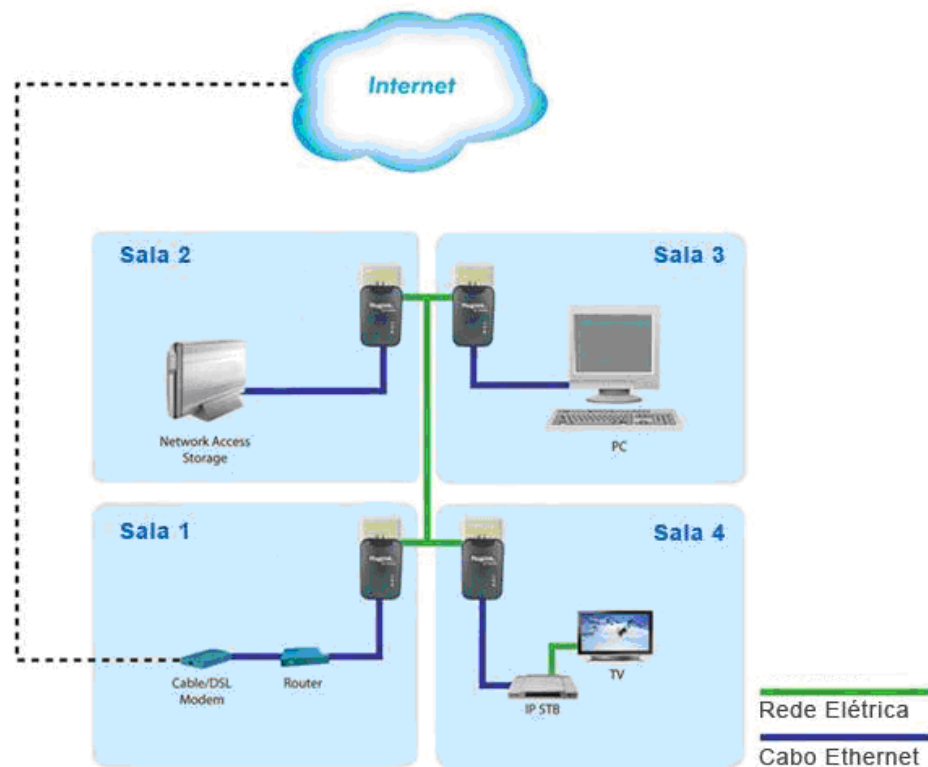


Figura 6 – Instalação de uma rede usando PLCs

Crédito: Eletrosystem [32]

Alguns fabricantes oferecem uma solução de AP integrado ao equipamento de PLC. A Figura 7 ilustra uma rede usando adaptadores PLC com AP integrado.

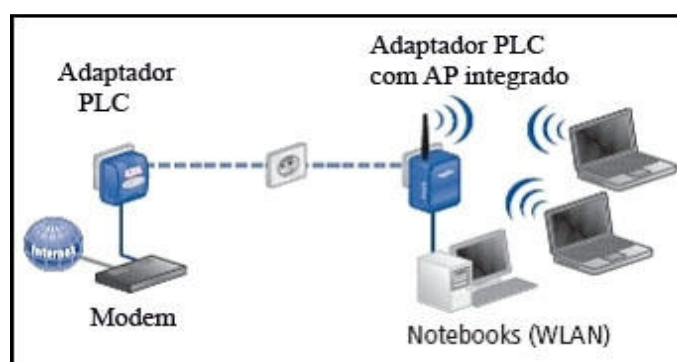


Figura 7 – Instalação de uma rede usando adaptador PLC com Ponto de Acesso integrado

Crédito: Devolo [33]

5.2.1 Vantagens

- A rede elétrica chega praticamente a todas as cidades brasileiras, enquanto nem todas as cidades têm serviços de telefonia fixa segundo a pesquisa realizada em 2007 pelo Centro de Estudos sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação [34].
- Como o PLC utiliza a infraestrutura já disponível, não necessita de obras nas escolas para ser implantado. Além do mais, a capilaridade da rede elétrica dentro de uma edificação é grande, já que quase todos os cômodos costumam possuir tomadas elétricas. Portanto, essa é uma vantagem da tecnologia PLC sobre todas as outras: em princípio, qualquer escola que possua infraestrutura elétrica instalada teria também uma potencial infraestrutura de rede.
- A solução do ponto de acesso integrado ao equipamento PLC parece bem interessante para o objetivo do projeto RUCA 2. Esse equipamento possui uma interface PLC, onde os dados podem ser trafegados pela rede elétrica, e uma interface *Wireless* (802.11b/g), que criaria uma zona de cobertura Wi-Fi aos *laptops*.

5.2.2 Desvantagens

- A velocidade de transmissão suportada em uma comunicação por equipamentos PLC é inversamente proporcional a distância entre os nós. Como é comum que em algum ponto da rede elétrica a fiação dê muitas voltas ao invés de fazer o caminho mais curto, uma edificação, mesmo que pequena, pode não ser capaz de suportar uma rede PLC de boa qualidade.
- Da mesma forma, disjuntores fora do padrão, descontinuidades causadas por tomadas, emendas e descasamento de impedância entre diferentes fios instalados na rede irão contribuir para perdas na potência de sinal.
- As tomadas elétricas tipicamente utilizam fios fase e neutro, sendo que o neutro é compartilhado entre todos os elementos conectados a um mesmo quadro de energia, isto implica dizer que a rede de dados não pode receber e

transmitir dados simultaneamente (o modo *full-duplex* não pode ser utilizado), o que quer dizer que a banda total será compartilhada entre *download* e *upload* (modo *half-duplex*).

- Equipamentos PLC se comunicam apenas dentro do mesmo quadro de energia. Para comunicação entre circuitos de quadros diferentes, é necessário o uso de uma extensão interligando os circuitos, ou o uso de um equipamento distribuidor, geralmente utilizado para a categoria PLOC, fora do painel principal do prédio.
- Em uma escola, todos os aparelhos eletro-eletrônicos compartilham o meio físico; com isso, qualquer conexão ou desconexão destes aparelhos poderá levar o sistema a apresentar variações de ruído, interferência e impedância o que pode acarretar uma diminuição da Relação Sinal-Ruído (que indica a qualidade de um enlace de comunicação) e, conseqüentemente, limitar a transmissão em alta velocidade. Na Seção 5.2.3 serão apresentados resultados de testes com diversos tipos de carga. Em alguns casos, a vazão verdadeira é menos da metade da vazão nominal.
- A utilização de PLC presume a utilização das tomadas elétricas existente nas escolas para alimentação dos APs. Isto nem sempre irá ocorrer. Escolas que não possuam a rede elétrica confiável deverão optar pela utilização de *Power Over Ethernet* (PoE). Ao utilizar PoE, é possível centralizar o ponto de alimentação de todos equipamentos, dando maior segurança de operação aos equipamentos eletrônicos, já que o equipamento injetor de energia poderia ser alimentado por um nobreak.

5.2.3 Testes com PowerLine Communication

A rede elétrica, ao contrário de uma rede Ethernet, não é dedicada à transmissão de dados. Por isso, é normal que a tecnologia PLC ofereça uma vazão menor do que a de uma rede Ethernet. Espera-se também maior interferência, visto que aparelhos podem ser ligados e desligados a qualquer momento, gerando ruídos no meio de transmissão (no caso, os fios da rede elétrica).

Durante todo o período do projeto RUCA 2, foram propostos e realizados testes para observar o comportamento dos equipamentos PLC em uma rede local e o efeito que fatores externos à rede poderiam causar na taxa de transmissão. Estes testes tiveram como objetivo explicar o funcionamento de uma rede PLC, entender seus requisitos e limitações, e mostrar que características comuns ao ambiente da maioria das escolas públicas poderiam ser benéficas ou prejudiciais à rede.

Os testes foram realizados no LID (Laboratório de Inclusão Digital), localizado no prédio da Engenharia da UFF. O ambiente de teste possui fiação e tomadas novas, colocando-o como um cenário de testes que pode ser usado como referência de desempenho ideal (máximo) da tecnologia. O equipamento PLC utilizado foi o XET1001, de 85 Mbps, da Netgear [35]. Dois tipos de fluxos foram usados em todos os testes, utilizando a ferramenta Iperf [36]:

- Fluxo TCP
- Fluxo UDP, taxa de 60 Mbps e quadros de 1500 Bytes

Cada fluxo teve duração de um minuto e foram gerados de forma intercalados em um total de três baterias de testes. Foi então calculada a média de cada fluxo para as três baterias.

5.2.3.1 Teste 1 – Influência da Distância

O primeiro teste realizado busca analisar que grau de degradação pode causar a distância percorrida por um sinal em um circuito elétrico. Para isso, foram montados dois cenários de teste: no primeiro, foi utilizado um fio paralelo isolado de 8 metros; no segundo, um fio de 50 metros. Dois equipamentos PLC foram conectados em cada extremidade, como mostra a Figura 8.

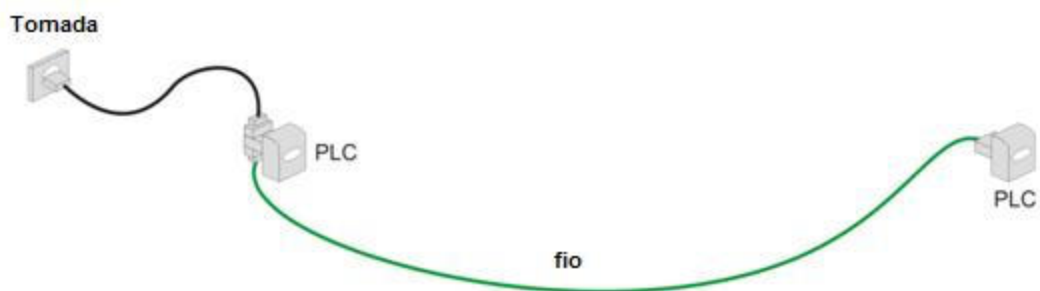


Figura 8 - Configuração do teste 1

A Figura 9 mostra que a vazão UDP diminui apenas 2%, mas a vazão TCP sofre uma maior degradação. Isso é causado pela taxa de perda de quadros de 1%. Como o mecanismo de controle de congestionamento do TCP diminui a taxa de transmissão à metade para cada evento de perda, essa taxa de perda é suficiente para causar uma considerável perda de desempenho.

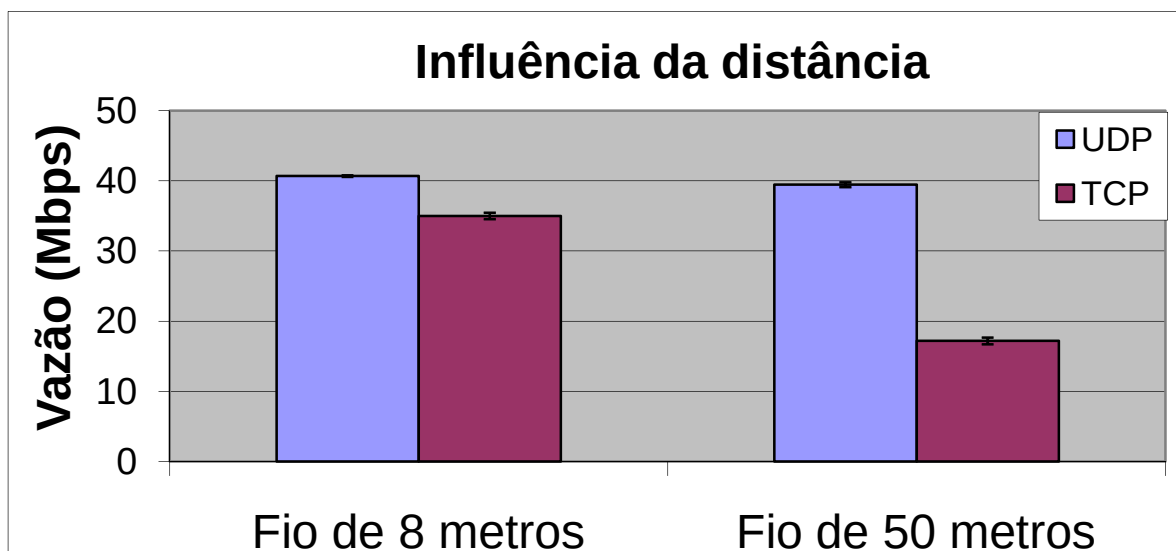


Figura 9 - Influência da distância na qualidade da rede

5.2.3.2 Teste 2 - Influência de Descontinuidades

Este teste investiga a influência que descontinuidades – tomadas, painéis elétricos ou emendas – no circuito podem ter na qualidade da comunicação. Em um primeiro cenário, dois equipamentos PLC foram conectados em um fio de 8 metros sem emendas ou tomadas intermediárias. A seguir, o mesmo teste foi feito entre dois equipamentos conectados a um circuito com três tomadas intermediárias. A Figura 10 mostra a configuração do segundo cenário.

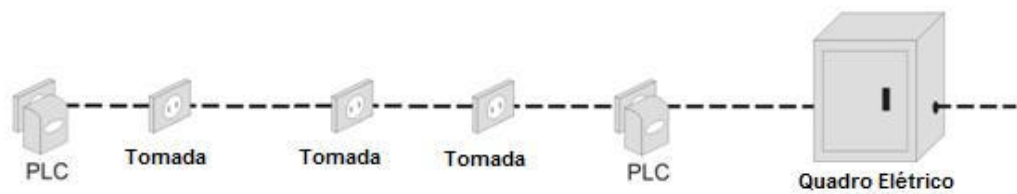


Figura 10 - Configuração do teste 2

Os resultados mostrados na Figura 11 mostram uma leve degradação na vazão encontrada, provavelmente devido à alta taxa de perda de quadros induzidos pela presença das tomadas.

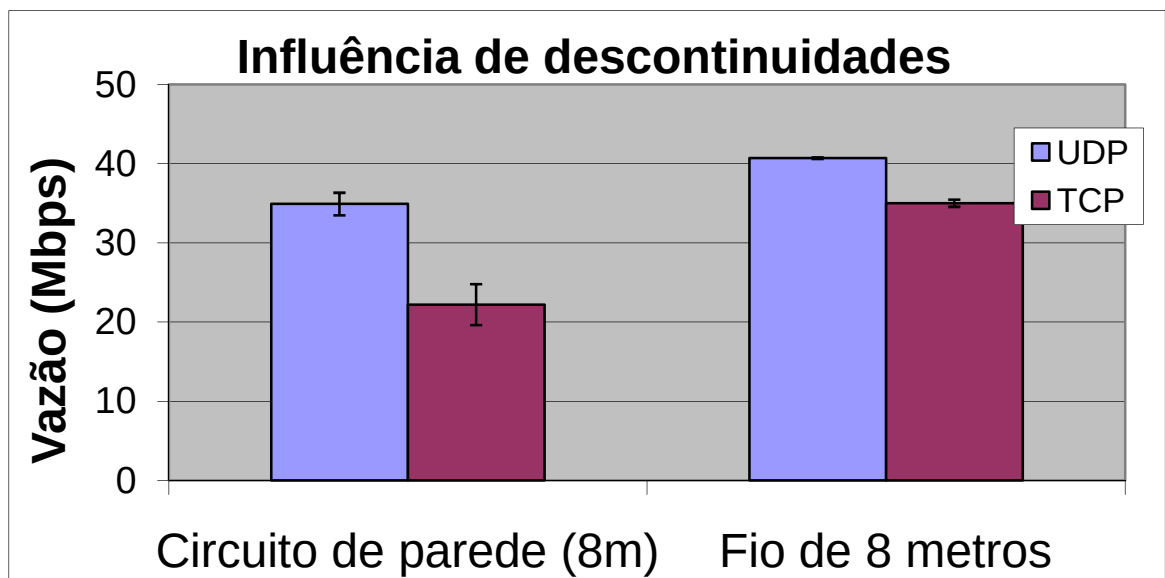


Figura 11 - Influência de descontinuidades na qualidade da rede

5.2.3.3 Testes 3 – Influência de Cargas

Usando o mesmo circuito do Teste 2, foram criados dois cenários de teste para investigar a influência de cargas na vazão da rede (Figura 12). No primeiro cenário, foram conectados dois no-breaks nas tomadas. Este cenário emula o ambiente de um laboratório de computadores, onde esses são ligados em no-breaks. No segundo cenário, foi utilizada, como carga, uma furadeira elétrica.

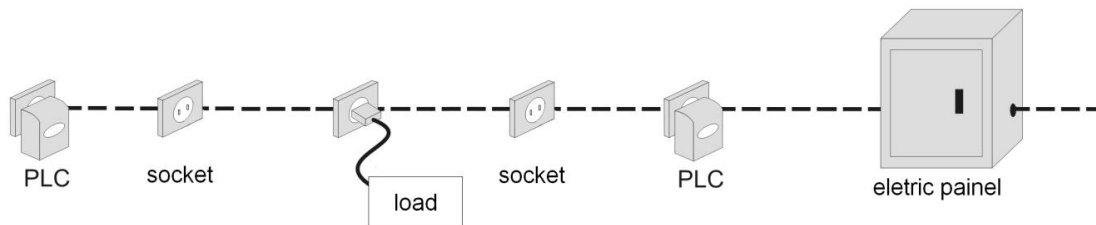


Figura 12 - Configuração do teste 3

A Figura 13 mostra como cada carga contribui negativamente na velocidade de comunicação entre os dispositivos. O melhor resultado é para o circuito sem carga alguma, como esperado. O pior resultado foi obtido quando a furadeira elétrica foi usada – equipamentos com motores universais geram grande degradação. Apesar de ter uma menor influência, a inserção dos no-breaks também causou uma perceptível queda na vazão. Algo interessante a observar é que, mesmo quando os no-breaks estão desligados, eles geram impacto. Isso ocorre por conta da mudança de impedância que a inserção da tomada causa na linha, podendo esta ser negativa e até positiva.

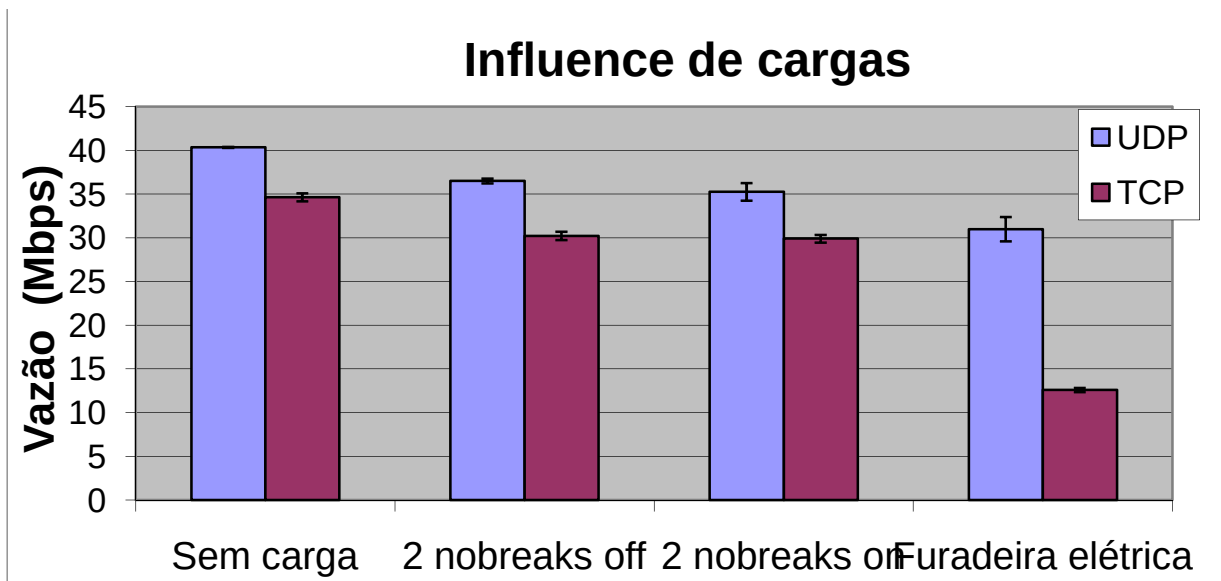


Figura 13 - Influência de cargas na qualidade da rede

5.3 CABOS IRRADIANTES

Cabos Irradiantes são cabos coaxiais com fendas no condutor externo, como ilustrado na Figura 14, que permitem a entrada e saída do sinal de rádio. Enquanto um cabo coaxial comum é utilizado para transportar um sinal de um ponto a outro, o cabo irradiante pode também ser considerado uma antena.

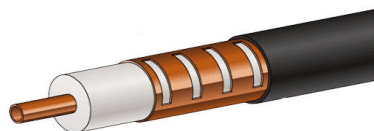


Figura 14 - Desenho de um Cabo Irradiante

Crédito: Teleco [37]

Como o cabo irradiante libera o sinal eletromagnético paulatinamente, a zona de cobertura fica concentrada nas áreas próximas ao cabo. Isso aumenta a eficiência do sistema, já que pouca energia é desperdiçada para fora do prédio, por exemplo.

Ao utilizar um meio semiconfinado, esta solução também facilita a comunicação via rádio frequência onde a propagação de ondas eletromagnéticas é prejudicada. Ao mesmo tempo, cria uma área de cobertura Wi-Fi mais homogênea, diminuindo a distância média entre

a fonte e o cliente móvel e permitindo que mais clientes se associem ao ponto de acesso a taxas mais altas.

O cabo irradiante é um elemento passivo que deve ser conectado a um ponto de acesso. Dependendo das distâncias envolvidas, além do AP e do cabo irradiante pode ser necessária a instalação de um amplificador na faixa de 2.4GHz para que o sinal chegue com qualidade até a extremidade do cabo irradiante. Neste caso, o sinal recebido no sentido inverso também deverá ser amplificado. Uma antena *indoor* pode ser adicionada ao final do cabo irradiante, ampliando ainda mais a área de cobertura.

Os cabos irradiantes utilizam os mesmos conectores dos cabos coaxiais. Quando se deseja conectar o cabo a um AP, deve-se utilizar um conector compatível com a entrada deste, como ilustra a Figura 15. Terminadores usados em cabos coaxiais também podem ser usados para cabos irradiantes e devem ter a mesma impedância do cabo, para que, assim, estejam casados e nenhuma reflexão ocorra no fim do cabo.



Figura 15 - Cabo Irradiante com conector e terminador

Crédito: WlanBrasil [38]

Reflexões internas no cabo podem causar interferências na recepção do sinal, o que degradaria a qualidade de serviço. E outro efeito, ainda mais sério, seria uma possível danificação do equipamento de rádio. Quanto menor o cabo, mais sério se torna este último efeito.

Pode-se vislumbrar três possíveis formas de terminação de um cabo irradiante. No primeiro caso, ilustrado na Figura 16, há o uso do terminador comum. Neste caso, nenhum sinal é refletido, mas não há preocupação com o padrão de irradiação no final do cabo. A Figura 17 mostra um terceiro caso: como não é usado terminador, uma fração do sinal será

irradiada e outra refletida. Este é o pior cenário, pois a reflexão, além de poder danificar o rádio, causa problemas de interferência na recepção do ponto de acesso. A terceira configuração será explorada com maior ênfase na Seção 5.4, que discute a colocação de uma antena como terminador do cabo irradiante.

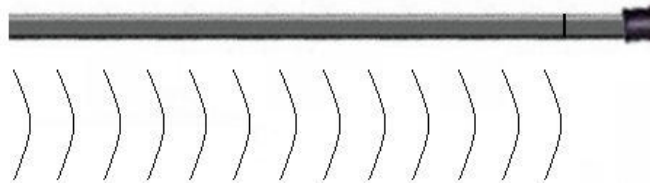


Figura 16 - Cabo Irradiante com terminador casado

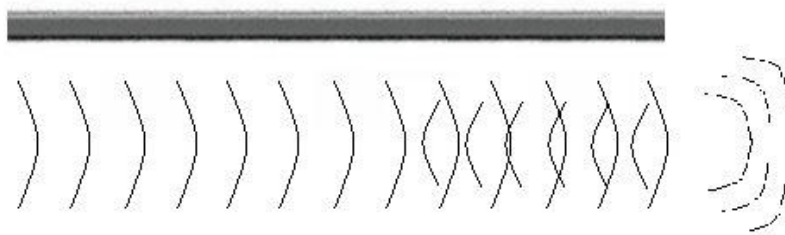


Figura 17 - Cabo Irradiante sem terminador

5.3.1 Vantagens

- O Cabo Irradiante cria uma área de cobertura Wi-Fi homogênea para computadores e *laptops*, reduzindo a distância média entre a fonte e o cliente móvel, e permitindo associação a altas taxas por todos os clientes.
- Como o Cabo Irradiante permite maior controle na distribuição do sinal de RF, pouco sinal é desperdiçado para fora do ambiente que se deseja cobrir, como acontece com pontos de acesso utilizando antenas-padrões.
- Aumento da área de cobertura, pois a passagem do cabo através de obstáculos (grossas paredes, armários metálicos, etc.) possibilita a iluminação de áreas que seriam naturalmente obstruídas.

5.3.2 Desvantagens

- A tecnologia usada para Cabos Irradiantes é patenteada pela empresa alemã RFS. Isto os torna os únicos fabricantes de cabos irradiantes, elevando o seu preço no mercado para um patamar bem alto, chegando a custar até 10 vezes mais que um cabo coaxial similar.
- A instalação do cabo irradiante requer um projeto de engenharia para escolha do padrão de irradiação do cabo e do caminho que o cabo irá percorrer. A instalação também exige presença de técnico para a instalação de conectores do cabo ao ponto de acesso e ao terminador.

5.3.3 Testes com Cabo Irradiante

Os testes realizados, descritos a seguir, constataam a vantagem de se utilizar cabos irradiantes para maior homogeneidade e cobertura.

Todos os testes foram realizados no prédio de engenharia da UFF. O cabo irradiante usado é da marca RFS, é representado na Figura 18, e possui as seguintes características:

- Modelo: RCF12-50JFN
- Bitola: 1/2"
- Comprimento: 20 metros
- Opera na faixa de frequência: 30 MHz até 6 GHz
- Perda linear: 15,3 dB/100m
- Perda por acoplamento: 70/ 82 dB



Figura 18 - Cabo Irradiante RCF12-50JFN

Dois cenários distintos foram montados, e medições foram feitas em 19 pontos ao longo do corredor do 2º e 3º andar e dentro de algumas salas do mesmo prédio. Para cada cenário e cada ponto foram medidos durante dois minutos o número de *beacons* capturados

por segundo (o AP foi configurado para enviar 10 *beacons* por segundo), a potência média dos quadros capturados e o desvio de potência do mesmos.

No primeiro teste, um ponto de acesso com sua antena padrão, omni-direcional de 2 dBi, foi instalado perto de uma extremidade do prédio, e a seguir foram feitas medidas da potência dos seus *beacons* em pontos variados entre dois andares do prédio. A Figura 19 mostra o mapa de calor correspondente a este cenário.

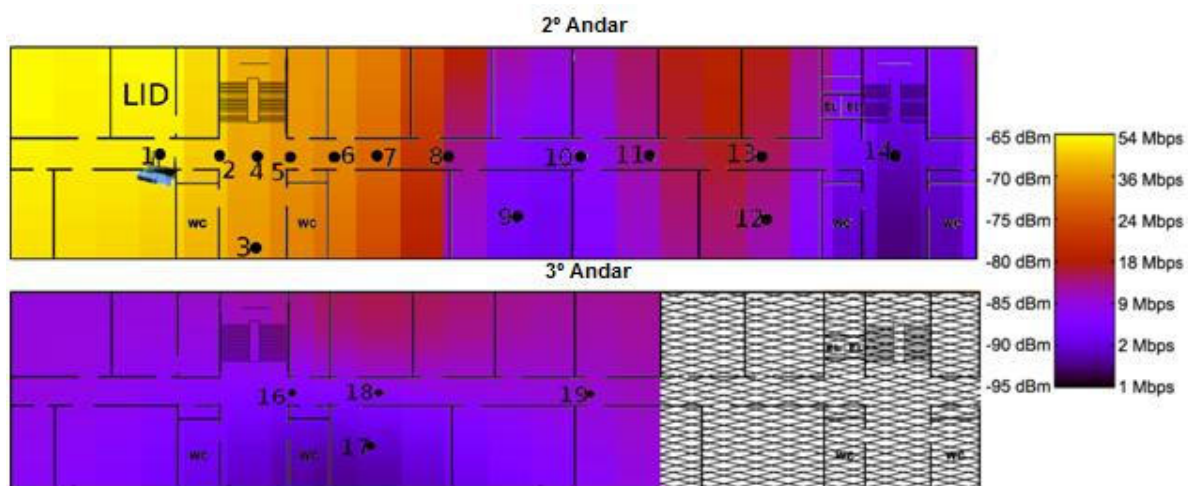


Figura 19 - AP com antena padrão

Quando a antena do ponto de acesso foi substituída pelo cabo irradiante, observou-se uma melhora significativa na cobertura do terceiro andar do prédio, e a cobertura do segundo andar foi estendida e melhor distribuída (Figura 20).

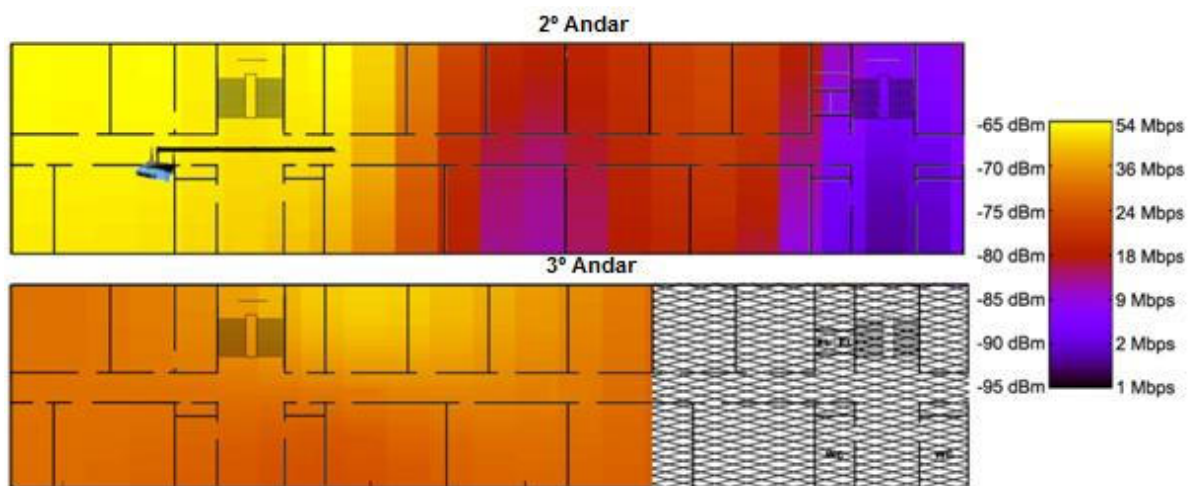


Figura 20 - AP com cabo irradiante

Com os resultados obtidos a partir dos testes com o cabo irradiante, foi montada uma tabela comparativa (Tabela 3) entre os dois cenários.

Ponto Nº	Cabo Irradiante			Sem Cabo Irradiante		
	Potência Média (dBm)	Desvio Padrão (dBm)	Beacons/s	Potência Média (dBm)	Desvio Padrão (dBm)	Beacons/s
1	-59.4418	2.06612	9.74028	-51.3171	5.24275	9.732
4	-60.7808	1.88403	9.74031	-56.2117	2.43418	9.72877
7	-63.8081	1.82123	9.68989	-69.7983	3.42163	9.67302
9	-83.5995	2.16419	9.10567	-89.6795	2.14198	8.87109
11	-75.0286	2.22774	3.21071	-79.3687	2.83907	6.37127
12	-92.2589	1.81896	1.694	-92.9264	1.37859	4.08037
14	-82.1612	1.70517	6.15347	-78.4556	2.73393	8.73006
15	-84.8889	2.34248	9.38026	-83.825	2.28667	9.66712
16	-76.0175	1.87843	9.5544	-84.9222	2.13968	9.64351
17	-78.1006	1.68915	9.03078	-92.0783	1.17766	5.96307
18	-71.5188	1.45703	9.73849	-81.4545	2.72896	9.70216
19	-92.2353	1.05882	0.190033	-	-	-

Tabela 3 - Comparação dos resultados com e sem Cabo Irradiante, e com Cabo e Antena juntos

Verificou-se que, por conta da distribuição mais homogênea alcançada pelo uso do cabo irradiante, a diferença entre as potências observadas entre pontos mais próximos e os mais distantes do ponto de acesso é menor quando se utiliza o cabo irradiante. Tomando por exemplo, o ponto 4 (próximo ao AP) observou-se uma redução de 4 dB após a instalação do cabo. No entanto, para o ponto 14, houve um aumento de 4 dB. Considerando que o valor final da potência no ponto 4 continua satisfatório (-60dBm) a troca se mostra conveniente. Ou seja, podemos esperar a redução da potência observada em um ponto bastante próximo ao ponto de acesso, ao instalarmos o cabo irradiante. No entanto, o ganho observado nos pontos mais distantes compensa vantajosamente essa redução nos pontos próximos.

Outro resultado observado, que mostra o aumento da área de cobertura, é a “iluminação” dos pontos extremos do edifício e a significativa melhora no sinal observada no andar superior.

A possibilidade de uma abordagem mais personalizada, utilizando variados tipos de cabos e antenas e outros elementos passivos será abordada na Seção 5.4: Composição de antenas.

5.4 COMPOSIÇÃO DE ANTENAS

Uma alternativa para expandir e homogeneizar a área de cobertura de um ponto de acesso é através da substituição da antena externa deste por um conjunto de elementos passivos (cabos coaxiais, cabos irradiantes, divisores, acopladores e antenas). As novas antenas seriam então distribuídas pela área de cobertura desejada, tornando possível construir um padrão similar a células de cobertura, mas utilizando apenas um rádio. Neste trabalho serão explorados alguns casos onde são colocadas duas antenas, no entanto, este esquema pode ser expandido para um número arbitrário de antenas.

Esta solução não adota nenhuma tecnologia especial; ela procura utilizar os elementos passivos de um sistema de rádio de um modo mais inteligente. Apesar de não ser uma criação deste trabalho, a abordagem sobre as variadas formas de utilização, os seus benefícios para aumento e homogeneização da cobertura e a importância desses benefícios para redes densas e de baixo custo pode ser considerada uma contribuição.

A Figura 21 ilustra um primeiro exemplo de uso de composição de antenas. Supõe-se que o único ponto possível para instalar um ponto de acesso se encontre próximo à entrada (no extremo inferior da figura) da edificação. Esta limitação nas opções de local de instalação pode ocorrer para garantir a segurança física do equipamento, por proximidade do ponto de chegada do acesso Internet, por acessibilidade ou por outras razões práticas. Sendo usado a antena omnidirecional de 2 dBi, padrão na maioria dos APs, é possível que em determinados pontos da edificação não haja cobertura. Este é um cenário em que um arranjo de antenas pode ser conveniente.

Dentre as muitas possibilidades, dois arranjos são sugeridos na Figura 21 e na Figura 22. Cada um deles pode ser pensado como uma possível solução para o problema de distribuição do sinal de Wi-Fi. Na Figura 21, duas antenas setoriais concentram a energia

dentro da edificação, ao passo que a antena padrão do ponto de acesso lançaria parte desta energia para fora da escola.

Se mesmo este arranjo não fosse suficiente para iluminar a parte superior da figura, outro cenário poderia ser criado, em que uma das antenas seria aproximada da extremidade superior do prédio. Nesse caso, como a distância percorrida pelo cabo coaxial é maior, a potência injetada neste deve ser maior. A partir da análise do cenário de cobertura desejada, o arranjo e os correspondentes elementos passivos devem ser escolhidos. Esta tarefa deve, preferencialmente, ser executada por um engenheiro.

Exemplificando o trabalho de engenharia que deve ser feito para cada arranjo: se a distância entre as duas antenas for igual, deve-se usar um divisor de potência na saída do ponto de acesso. Neste esquema, um cabo coaxial é conectado na entrada da antena do ponto de acesso, sendo a outra ponta ligada ao divisor. Este irá dividir igualmente a potência do sinal gerado pelo rádio entre dois novos cabos coaxiais. Na ponta destes cabos secundários, a antena é instalada, como mostra a Figura 21.

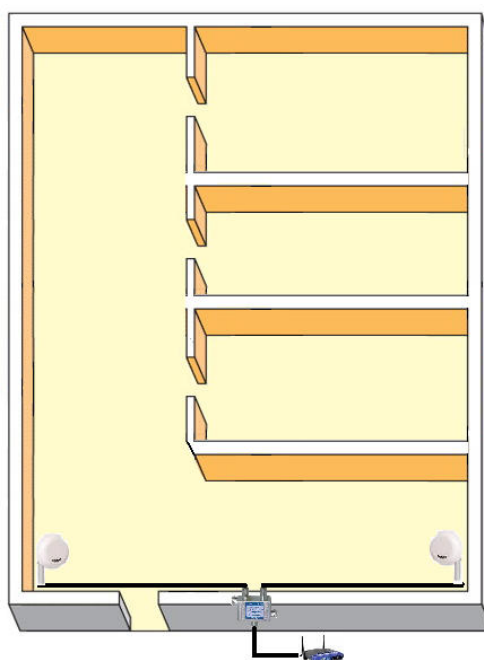


Figura 21 - Composição de antenas com divisor de potência

Já se o posicionamento das antenas em relação ao rádio for assimétrico, como ilustra a Figura 22, o divisor deve ser substituído por um acoplador desbalanceado. Este dispositivo divide o sinal proveniente de um cabo coaxial em dois ou mais ramos com potências diferentes. O acoplador deve, neste caso, oferecer mais potência ao ramo onde o sinal irá percorrer uma distância maior até a antena. Cabe ao engenheiro do projeto definir o grau de desbalanceamento desse acoplador.

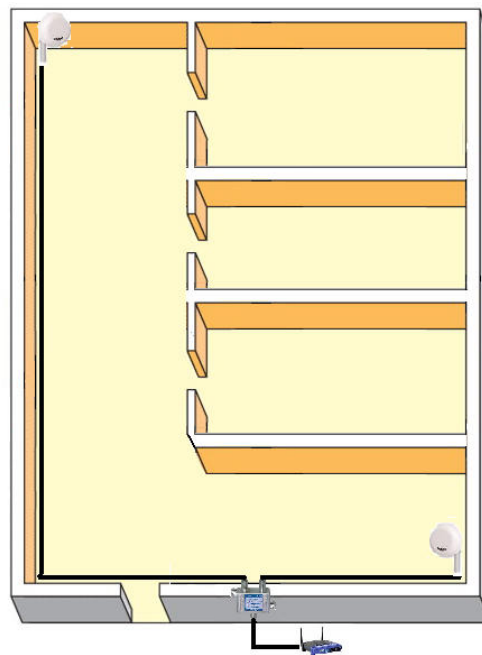


Figura 22 - Composição de antenas com acoplador desbalanceado

Para compensar as perdas de propagação no cabo coaxial e as de acoplamento nos outros elementos passivos, e garantir que o sinal oriundo do AP chegue com potência alta à antena, estes dois cenários, e também o cenário de uso de cabo irradiante, podem ser repetidos com o uso de amplificador. Este ficaria entre o AP e o divisor de potência ou acoplador direcional, quando existir mais de um ramo de elementos passivos, como mostra a Figura 23. Caso haja apenas um ramo, o amplificador deve ser conectado diretamente no cabo coaxial ou cabo irradiante.

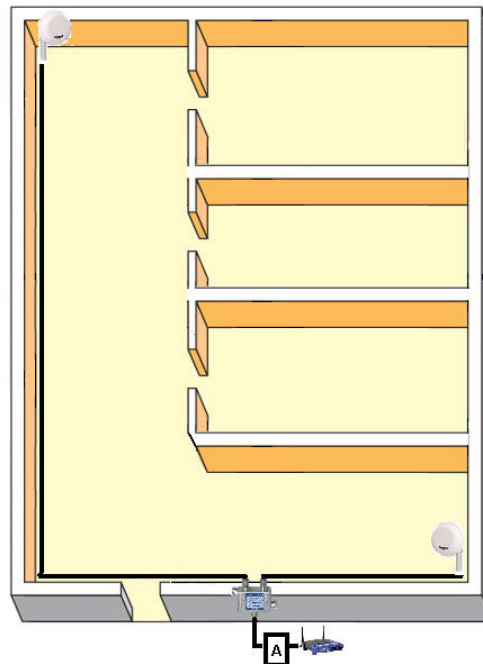


Figura 23 - Composição de antenas com amplificador

Deve-se ter parcimônia no uso de amplificadores, pois, se mal usados, eles podem piorar, ao invés de melhorar a qualidade de distribuição do serviço. Os amplificadores para Wi-Fi encontrados no mercado amplificam uniformemente o sinal. Quando usado na transmissão do sinal, junto ao rádio, não há problema, pois a Relação Sinal-Ruído (RSN) é muito alta na saída do rádio. Mas quando colocados junto ao rádio, na recepção, a RSN é bem mais baixa, e com isso, o ruído também seria amplificado, comprometendo a interpretação do sinal pelo AP. Como na tecnologia Wi-Fi o meio físico é compartilhado, tanto no ar como nos cabos coaxiais, os sinais, nos dois sentidos, transmissão e recepção, compartilhariam o mesmo amplificador, resultando no problema exposto acima.

Uma solução para este problema seria construir um esquema com dois amplificadores e dois circuladores. A Figura 24 ilustra o esquema que separaria os sinais nos dois sentidos. Um amplificador normal seria usado no sentido da transmissão, e um amplificador de baixo ruído (LNA - *Low Noise Amplifier*) no sentido da recepção. O uso desta solução, com amplificadores, aumentaria bastante o custo do projeto. Portanto, só deve ser utilizada se a distância do rádio para as antenas for muito grande e o cenário possuir obstáculos significantes à propagação do sinal, o que exigiria um grande número de rádios caso fosse utilizado uma solução tradicional.

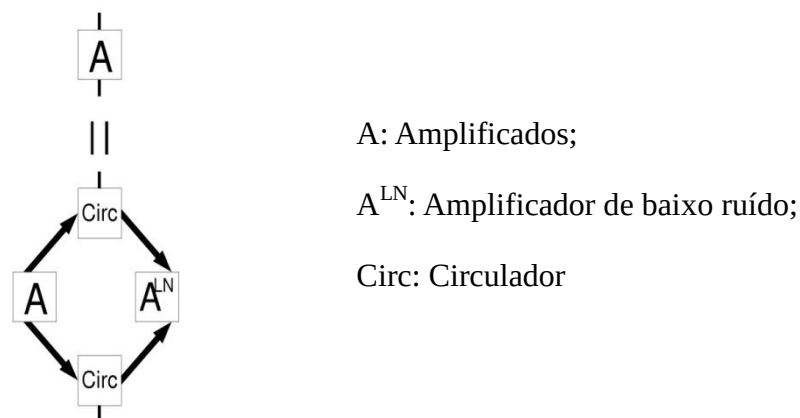


Figura 24 - Esquema com Amplificadores e Circuladores

Pode-se também unir a solução de cabos irradiantes à da composição de antenas. Neste caso, o cabo coaxial seria substituído por um cabo irradiante e uma antena com a mesma impedância de entrada do cabo seria acoplada a ele, resultando numa configuração como a apresentada na Figura 25. Essa solução, como será visto no teste da Seção 5.4.3, pode melhorar ainda mais a qualidade de cobertura de um ambiente indoor.

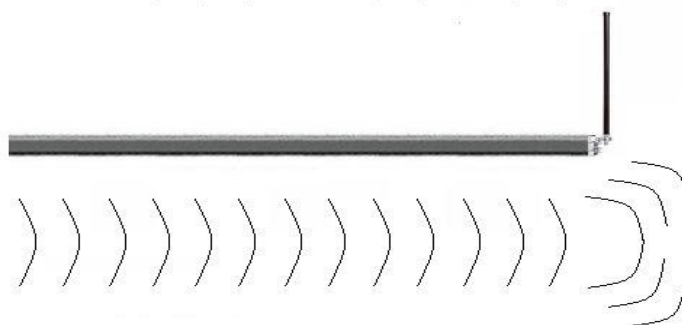


Figura 25 - Cabo Irradiante com uma antena

Soluções ainda mais complexas podem ser adotadas, como intercalação entre cabos coaxiais e cabos irradiantes para evitar que potência seja desperdiçada em áreas em que não é desejada a cobertura. O uso em conjunto de cabos coaxiais e cabos irradiantes possui outra vantagem: redução de custo, quando comparada à solução de cabo irradiante pura.

5.4.1 Vantagens

- Quando comparado à solução de cabos irradiantes, composição de antenas possui um custo bem menor, devido ao preço baixo de antenas setoriais e cabos coaxiais.
- Possibilita que a área de cobertura seja projetada de modo a confinar o sinal em uma área de interesse, evitando desperdício de sinal.
- Assim como a solução de cabos irradiantes, cria uma área de cobertura homogênea para computadores e *laptops*, reduzindo a distância média entre a fonte e o cliente móvel e permitindo associação a altas taxas por todos os clientes.
- Aumento da área de cobertura, pois a passagem do cabo coaxial através de obstáculos possibilita a iluminação de áreas que seriam naturalmente obstruídas.

5.4.2 Desvantagens

- Assim como a solução de cabos irradiantes, a instalação do sistema de composição de antenas requer um estudo de engenharia para definir o melhor caminho de passagem dos cabos coaxiais, posicionamento e escolha das antenas e demais componentes.

5.4.3 Testes com Composição de Antenas

No mesmo cenário montado para os testes da Seção 5.3.3, foi feito um teste adicionando uma antena de 12 dBi como terminador do cabo irradiante. Essa solução pode ser vista como uma composição de antenas. A Figura 26 e a Tabela 4 mostram a melhora de cobertura e homogeneidade.

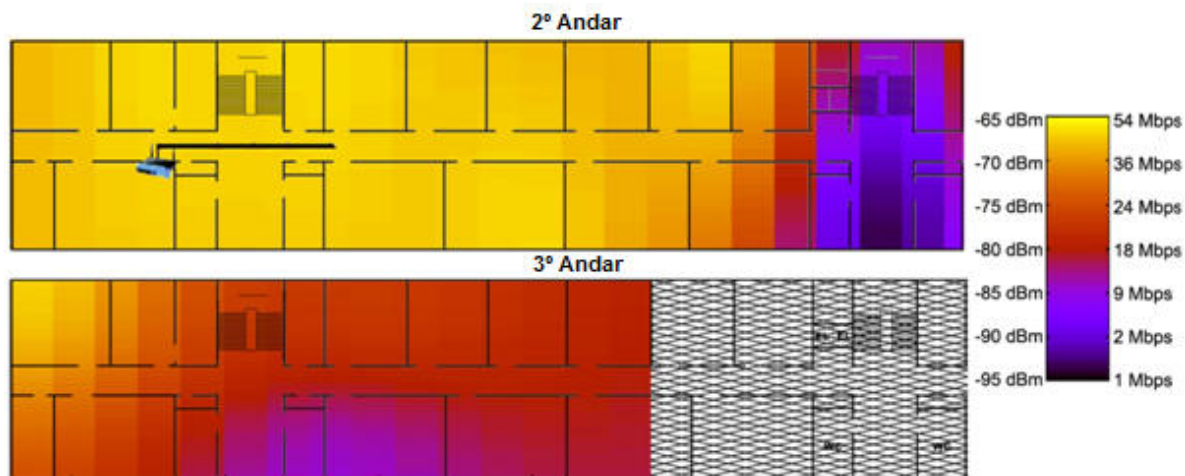


Figura 26 - Cabo irradiante com antena de 12dBi

Ponto N°	Sem Cabo Irradiante			Cabo+Antena		
	Potência Média (dBm)	Desvio Padrão (dBm)	Beacons/s	Potência Média (dBm)	Desvio Padrão (dBm)	Beacons/s
1	-51.3171	5.24275	9.732	-66.1757	2.07217	9.73201
4	-56.2117	2.43418	9.72877	-59.4949	1.61382	9.74034
7	-69.7983	3.42163	9.67302	-51.7144	2.21855	9.4292
9	-89.6795	2.14198	8.87109	-64.451	2.60772	9.36289
11	-79.3687	2.83907	6.37127	-64.6095	4.90296	3.38748
12	-92.9264	1.37859	4.08037	-83.499	2.75094	8.50479
14	-78.4556	2.73393	8.73006	-67.9895	4.15199	5.57764
15	-83.825	2.28667	9.66712	-80.9687	3.9713	9.59024
16	-84.9222	2.13968	9.64351	-61.5137	3.71086	9.46346
17	-92.0783	1.17766	5.96307	-74.4133	2.65086	4.76086
18	-81.4545	2.72896	9.70216	-70.2329	2.40516	9.74036
19	-	-	-	-79.8342	1.8417	9.41293

Tabela 4 - Comparação dos resultados sem cabo irradiante e com cabo irradiante com antena

Comparando a homogeneidade de cobertura, ou variabilidade da potência do sinal, para os três cenários testados, observa-se:

- Variabilidade muito baixa: cabo irradiante com antena como terminador
- Variabilidade baixa: cabo irradiante sem terminador
- Variabilidade alta: AP com antena padrão

5.5 HOME PNA

HomePNA é uma tecnologia baseada nas especificações desenvolvidas pela *Home Phone Networking Alliance* (HPNA) [39], e é usada para transmissão de dados através de cabos telefônicos para pequenas distâncias.

Os sinais transmitidos não interferem com as ligações de voz, nem com os serviços de acesso via ADSL, pelo fato de que ambos utilizam diferentes frequências. A última versão do padrão HomePNA oferece vazão de até 320 Mbps, mesmo se o telefone estiver em uso.

Adaptadores HomePNA são usualmente encontrados na forma de placas PCI para PC (Figura 27) ou de adaptadores externos (Figura 28).



Figura 27 - Adaptador HomePNA PCI



Figura 28 - Adaptador HomePNA externo

Há duas formas de distribuir conectividade utilizando o HomePNA. A primeira, utilizando extensões telefônicas. A linha telefônica funcionaria como um barramento, e qualquer usuário com um adaptador HomePNA/Ethernet, que plugue seu computador a extensão, compartilhará a rede. Se um destes equipamentos estiver conectado à Internet, todos os outros também estarão. É possível interligar até 50 equipamentos de rede em uma mesma

linha telefônica; no entanto, quanto maior o número de equipamentos, maior o número de colisões de pacotes e pior o desempenho. A segunda forma de uso do HomePNA é por linhas dedicadas. Essa é a forma mais comum, pois linhas telefônicas são geralmente dedicadas. Para distribuir conexão à rede para diversos ramais dentro de um prédio, é necessária a aquisição de um switch HomePNA. Esse switch teria uma porta ethernet, para conexão à rede externa (Internet) e diversas portas de telefonia. Cada uma dessas portas deve ser conectada à respectiva entrada no quadro de distribuição de telefonia do prédio. Os usuários finais necessitam, da mesma forma que a anterior, de um adaptador HomePNA/Ethernet para conectar seu computador à linha telefônica (a Figura 29 mostra essa arquitetura). A distância máxima tolerada entre os pontos é de 330 metros.

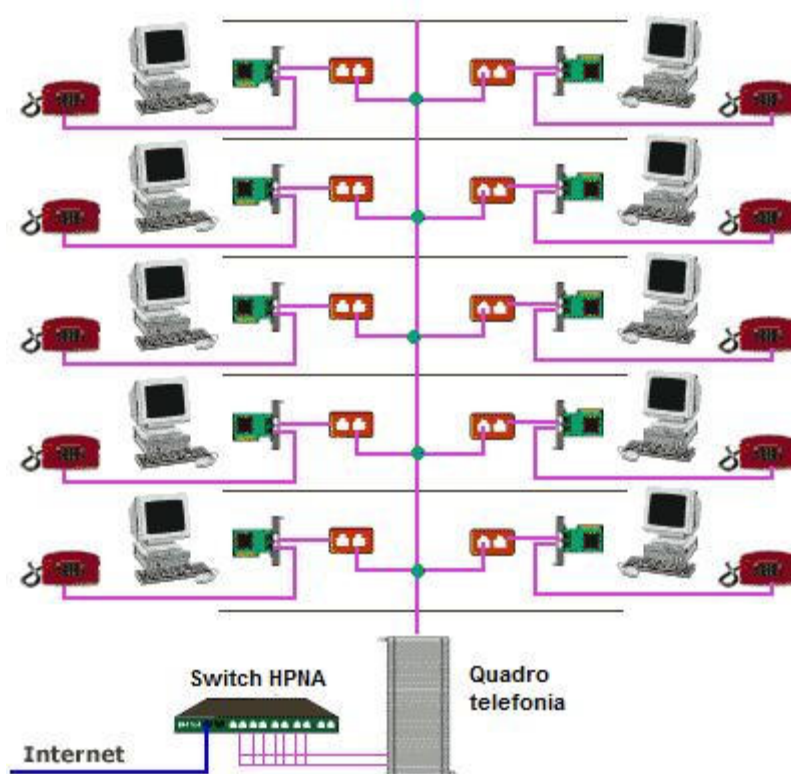


Figura 29 - Arquitetura do Home PNA

5.5.1 Vantagens

A principal vantagem desta tecnologia é o aproveitamento da infraestrutura já existente da rede telefônica para interligar computadores.

5.5.2 Desvantagens

Para a rede telefônica tornar-se uma rede de dados é necessária uma tomada telefônica próxima de cada computador, pois, caso contrário, será necessário passar extensões de telefone ou instalar uma nova conexão. Neste caso, é mais vantajoso usar a tecnologia Ethernet, pois ela tem um menor custo e maior confiabilidade. Por isso, esta solução se torna pouco aplicável no cenário de uma escola, pois nem todas as salas de aula possuirão uma tomada telefônica para ser conectada a um dispositivo HomePNA.

5.6 ETHERNET

Ethernet é uma tecnologia usada em redes locais, padronizada pelo IEEE como 802.3 [40], e é o padrão de rede mais usado atualmente. Praticamente todos os computadores e equipamentos de rede, como pontos de acesso, possuem uma interface Ethernet. É confiável, estável, tem taxas de transmissão de dados a partir de 10 Mbits/s e alcança taxas de Gbps, conforme os padrões abaixo:

- Fast Ethernet: Em relação ao padrão Ethernet, houve uma mudança da taxa de transmissão de 10Mbit/s para 100Mbit/s.
- Gigabit Ethernet: Este novo padrão aumentou o valor da taxa de transmissão para 1Gbps
- 10-Gigabit Ethernet: Este novo padrão Ethernet alcança 10 Gbps e abrange sete tipos diferentes de mídias para uma LAN, MAN e WAN. Já está sendo usado em redes metropolitanas.

O compartilhamento de uma conexão à Internet com vários clientes, que no cenário da escola serão os pontos de acesso, demanda o uso de um *switch*. O dispositivo conectado a Internet (*gateway*), *cable modem* ou modem ADSL, deve ser conectado através de um cabo de

rede Ethernet ao *switch*, e este deve ser conectado também através de cabo ethernet aos pontos de acesso. *Switches* mais simples e baratos possuem quatro portas, o que possibilitaria a conexão de três pontos de acesso ao *gateway*; mas existe uma gama de *switches* presentes no mercado com variados números de portas.

Este trabalho não tratará dos detalhes desta tecnologia, visto que ela já é bem conhecida e o objetivo aqui seria apenas listar suas principais características, vantagens e desvantagens frente às outras tecnologias já estudadas.

5.6.1 Vantagens

- A grande adoção resultou numa produção cada vez maior de equipamentos Ethernet, fazendo com que seu preço caísse cada vez mais, tornando-a a tecnologia de LAN mais amplamente utilizada, tanto em ambientes domésticos como empresariais.
- Trata-se da tecnologia mais madura de redes locais. É estável, oferece velocidades muito altas e modo de transmissão *full-duplex*.
- Dispensa o uso de adaptadores para conexão aos pontos de acessos e ao modem ADSL.
- Alguns equipamentos permitem a alimentação dos pontos de acessos através do cabo de rede, usando a solução de PoE (*Power over Ethernet*) [41]. Ao utilizar tal solução, é possível centralizar o ponto de alimentação de todos os equipamentos, dando maior segurança de operação aos equipamentos eletrônicos, já que o equipamento injetor de energia poderia ser alimentado por um *nobreak* e por um circuito elétrico confiável.

5.6.2 Desvantagens

Apesar de esta tecnologia ser a mais utilizada atualmente, ela envolve alto custo de implantação, não apenas pelo material (cabos, conectores, *patch-panels* e outros elementos ativos) como pela mão de obra para passagem de cabos e conectorização, além da necessidade de projetos de cabeamento.

5.7 CONCLUSÃO SOBRE CONECTIVIDADE *INDOOR*

Para determinar o número de pontos de acessos necessário, e que tecnologias de apoio deverão ser usadas em um projeto de rede sem fio, deve-se pensar na área de cobertura desejada, no número de usuários da rede, na necessidade de banda para cada usuário e no comportamento de uso deste usuário – os três últimos estão ligados à capacidade da rede. Os requisitos que são ligados à capacidade são mais fáceis de mensurar – eles dependem do número de usuários ativos simultaneamente, banda necessária para cada usuário e limitação do *hardware*, todos esses valores conhecidos ou que podem ser estimados - e os principais delimitadores no dimensionamento da rede sem fio no ambiente denso das escolas; portanto, estes que deverão ser usados, inicialmente, para o cálculo do número de pontos de acesso necessários.

Considerando que dentro de sala de aula, a utilização simultânea da rede por todos os alunos será de grande possibilidade, devido ao uso direcionado que poderá ser feito pelo professor, e que os equipamentos estejam configurados de forma a otimizar a eficiência da rede – sem RTS/CTS, taxa de 54 Mbps e sem compatibilidade com IEEE 802.11b -, foi realizado um cálculo teórico para obter a banda disponível a cada usuário em uma rede compartilhada por 50 usuários. Obteve-se um valor de 330 kbps. Foram também realizadas algumas simulações no NS-2 (*Network Simulation 2*) [42], com a mesma combinação de configurações de rede e com algumas variações, com o intuito de corroborar o cálculo teórico e demonstrar o impacto das configurações de rede propostas na eficiência da rede. Os resultados, apresentados na Tabela 5, confirmam às análises e cálculos teóricos e, apesar das limitações inerentes a uma simulação de rede, leva a acreditar que o número de 50 usuários pode ser utilizado como um limite máximo de usuários por AP, já que 300 kbps é uma velocidade aceitável para acesso à *web*.

Simulação	Combinação de Referência			Combinação 2	Combinação 3	Combinação 4
	TT 54Mbps	Sem RTS/CTS	Sem 802.11b	TT Variável	Com RTS/CTS	Com 802.11b
	300 Kbps			280 kbps	240 kbps	210 Kbps

Tabela 5 - Simulação de capacidade da rede

Como o número máximo de alunos por sala de aula, determinado pelo Ministério da Educação, é de 50 usuários, a utilização deste número como referência traz facilidade ainda maiores, pois evita que seja necessário a instalação de mais de um AP por sala de aula, o que traria problemas de infraestrutura e aumentaria a interferência entre células.

Portanto, se o ponto de acesso possuir capacidade computacional para absorver um número maior que 50, o compartilhamento de banda será o principal delimitador para o cálculo de APs, caso contrário, o delimitador é o próprio AP.

Para escolas pequenas, como as rurais, com menos de 30 alunos por turno, uma solução com um ponto de acesso *customer-grade* pode ser suficiente para suprir os requisitos de capacidade da escola. Caberia, portanto, verificar se a instalação desse AP em local apropriado – utilizando a prática do *site survey* - satisfaria o requisito de cobertura. Escolas um pouco maiores, com menos de 50 alunos por turno, seguiriam o mesmo esquema, com a diferença de que necessitariam de um ponto de acesso mais robusto para satisfazer o requisito de capacidade. Nos dois casos, se a cobertura for incompleta ou deficiente, limitando a banda oferecida a cada usuário, deve-se trabalhar para tornar a rede mais homogênea através do uso de elementos passivos, ou até mesmo com a instalação de outro AP. A escolha entre uma opção ou outra deve ser baseada na infraestrutura existente em cada escola - caso ela já tenha uma rede cabeada Ethernet instalada, por exemplo, pode ser mais barato e vantajoso a instalação de um segundo AP -, ou na facilidade de elaboração do projeto – elementos passivos demandam um trabalho mais complexo de engenharia.

Escolas maiores e com quantidade superior de alunos terão que instalar mais de um ponto de acesso, pois dificilmente um único AP será capaz de associar simultaneamente mais de 50 clientes, e ainda oferecer-lhes banda apropriada. Nesse caso, ao fazer o projeto, deve-se contabilizar o número de pontos de acessos necessários em função do número de alunos. Posteriormente, divide-se a área de cobertura desejada em um número de zonas iguais ao número de APs. Em cada zona deve-se instalar o AP em um local apropriado, de forma que

ele atenda no máximo 50 alunos. Novamente, como nos casos anteriores, se a cobertura não for satisfatória dentro de cada zona, deve-se escolher entre a adição de novos AP ou utilização de elementos passivos.

A Figura 30 mostra um fluxograma que apresenta de forma resumida a metodologia que deve ser utilizada para o planejamento de uma rede sem fio nas escolas.

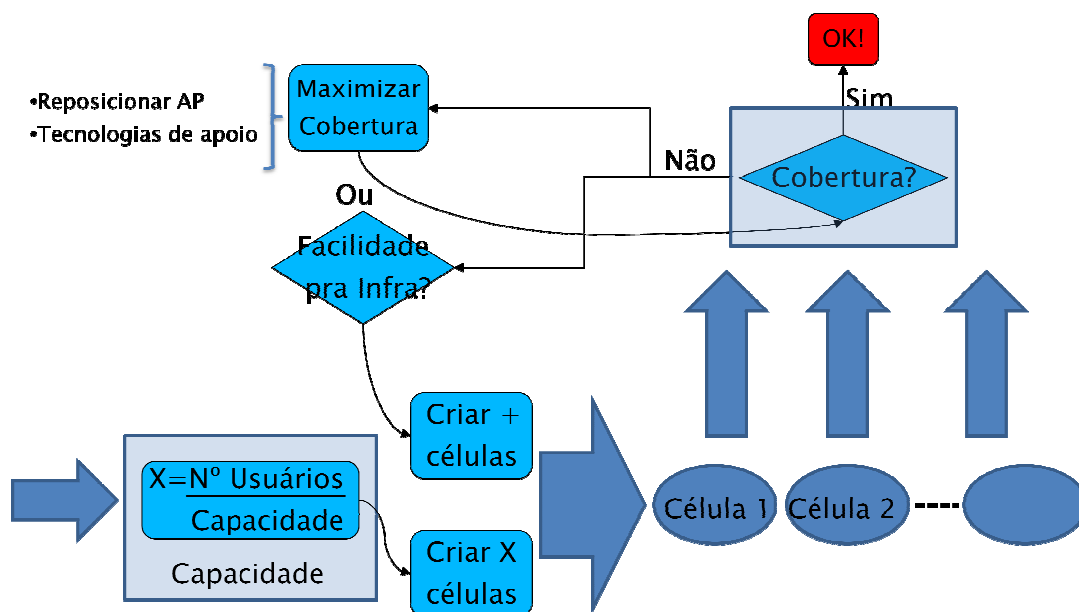


Figura 30 - Metodologia de planejamento de rede sem fio

Escolas com mais de três APs terão que praticar reúso de canais ortogonais, causando, inevitavelmente, interferência entre algumas células. Nestes casos, a diminuição de potência dos APs pode ser realizada como medida paliativa. Deve-se então configurar o AP na mínima potência necessária para que ele consiga cobrir a área prevista com um nível de sinal aceitável. Tal medida, sozinha, não evita a interferência entre as células por completo. Para isto, seria necessário também diminuir a potência dos laptops, o que é inviável, já que este deverá funcionar em outros ambientes. A utilização da emenda “a” ou “n” do 802.11 seriam a solução ideal, pois permitem a utilização de até 12 canais ortogonais, praticamente anulando a probabilidade de dois APs próximos terem que utilizar o mesmo canal.

É preciso, ainda, encontrar uma forma de interligar o AP (ou os APs) ao modem ADSL ou enlace via satélite, que dará acesso à rede externa. As tecnologias Ethernet, PLC e HomePNA dizem respeito ao *backhaul* que interconectará esses diversos pontos de acesso a essa rede externa. No jargão das redes sem fio, esse *backhaul* é conhecido como Sistema de

Distribuição (DS – *Distribution System*). Os sistemas de distribuição podem ser cabeados ou não cabeados (nesse caso são chamados de WDS, *Wireless DS*). Os mecanismos aqui descritos são técnicas para a implementação de sistemas de distribuição cabeados. A tecnologia WDS não foi estudada neste trabalho por ser considerada inviável, uma vez que o seu uso compartilhando o mesmo rádio da WLAN geraria ainda mais interferência na já congestionada rede sem fio das escolas – a utilização de dois rádios por AP, utilizando a emenda “a” para o WDS, soluciona o problema de interferência mas insere em aumento de custo dos equipamentos e não oferece taxas altas. Redes *mesh* também poderiam ser usadas para desempenhar um papel semelhante ao WDS, mas também são desaconselhadas pelos mesmos motivos.

Para escolha apropriada da tecnologia de interconexão a ser usada, é preciso fazer um estudo sobre a infraestrutura existente na escola. Sempre que já houver uma rede cabeada ethernet instalada, ela deve ser utilizada, pois é a tecnologia mais estável, que oferece maiores velocidades e é compatível com as interfaces de rede presentes nos APs e no modem. Com isso, seria necessária apenas a compra de um switch e dos APs.

Caso a escola não possua rede Ethernet instalada, deve-se verificar a infraestrutura presente próxima aos pontos escolhidos para instalação do AP. HomePNA pode não ser viável, pois nem todos os locais do prédio possuem tomadas de telefone próximas, além desta tecnologia ter um custo muito alto. PLC, no entanto, possibilita uma interconexão mais capilarizada, já que tomadas elétricas estão presentes em toda parte de um prédio, e possui custo mais baixo. No entanto, o projetista deve estar atento às limitações da tecnologia PLC, como a impossibilidade de comunicação entre quadros elétricos diferentes. São considerados significativos para o desempenho da rede PLC a variação de distância entre os equipamentos e as cargas no circuito onde está instalada a rede, principalmente equipamentos elétricos com motores universais, como ventiladores de teto e furadeiras. Outros equipamentos que possivelmente serão encontrados no ambiente da escola como, por exemplo, os próprios computadores e no-breaks, mostraram ser pouco prejudiciais ao funcionamento do PLC. Constatou-se também que descontinuidades – conexões, emendas, tomadas, etc. - têm efeitos sobre o desempenho da rede.

A utilização de PLC em ambientes com rede elétrica deficiente também é desaconselhada por questões de segurança dos equipamentos. Equipamentos eletrônicos são sensíveis a flutuações e picos de eletricidade. Para garantir a segurança de funcionamento de todos os equipamentos eletrônicos da escola, seria necessária uma reforma completa da

infraestrutura elétrica da escola, inclusive com aterramento eficiente. Uma solução mais simples e barata para resolver o problema da estabilidade elétrica é adoção de Ethernet aliada à tecnologia de *Power Over Ethernet*. Neste caso, seria necessária a adequação elétrica apenas do circuito onde estão ligados os injetores PoE.

Feitas todas essas considerações, a tecnologia de PLC também parece promissora como alternativa em escolas onde a passagem de cabos é inviável economicamente. Havendo, neste cenário, uma instalação elétrica pré-existente, e em condições satisfatórias, o PLC pode representar uma solução.

As soluções de uso de elementos passivos, cabos irradiantes e composição de antenas, são capazes de expandir a área de cobertura sem a aquisição de novos pontos de acesso. Essas tecnologias também podem ser usadas para aumento da capacidade da rede quando ela está ligada apenas à questão de interferência. Nesse último caso, o benefício à capacidade da rede se daria por conta da homogeneização da cobertura, possibilitando que todos os clientes se associem a taxas altas. No entanto, essas duas tecnologias requerem projetos de engenharia, o que pode torná-los mais caros e de implantação demorada. Pode-se também enxergá-los como uma alternativa aos casos onde a propagação do sinal eletromagnético na área desejada de cobertura seja complicada – por conta de paredes grossas ou metálicas, por exemplo.

Uma alternativa para solucionar o problema de capacidade de uma rede é estabelecer horários para que cada turma utilize a rede. Um rodízio seria feito entre todas as turmas de modo que a rede não fique muito congestionada. O Uruguai utiliza essa técnica. O equivalente para a questão da cobertura seria optar pela iluminação de apenas algumas salas especiais, que seriam usadas caso o professor necessite o acesso à rede. Cabe, portanto, estabelecer se o uso concorrente da rede por todos os alunos e em todas as salas de aula é ou não um requisito necessário. Trata-se de um requisito pedagógico que embasa um projeto técnico.

Em conclusão, podemos afirmar que, face à multiplicidade de tecnologias de conexão para redes locais, utilizando cabos de rede, cabos elétricos, cabos telefônicos, ou nenhum cabo, o desafio em se levar conectividade a todos os ambientes necessários é de natureza primariamente econômica, sendo o aspecto técnico ligado aos projetos de engenharia que algumas dessas opções pressupõem.

6 PLANEJAMENTO DE CONECTIVIDADE *OUTDOOR*

O principal objetivo da conectividade *outdoor* é a inclusão digital para estudantes e suas famílias, que moram próximos às escolas e, com isso, poderão utilizar os *laptops* educacionais em suas casas, ou ruas e praças próximas à escola, para acesso à Internet.

Para prover tal conectividade, um AP compatível com o padrão IEEE 802.11 deverá ser instalado no topo do colégio junto a uma antena *outdoor*, que deverá ser escolhida de acordo com o padrão de cobertura desejado, como mostra a Figura 31. A tecnologia Wimax [43], apesar de mais apropriada para esse cenário, dada maior cobertura e capacidade dela, não é aconselhada devido ao alto custo dos equipamentos, à possível necessidade de licença para operação, o que acarretaria um custo adicional, e à falta de compatibilidade com os *laptops* educacionais.

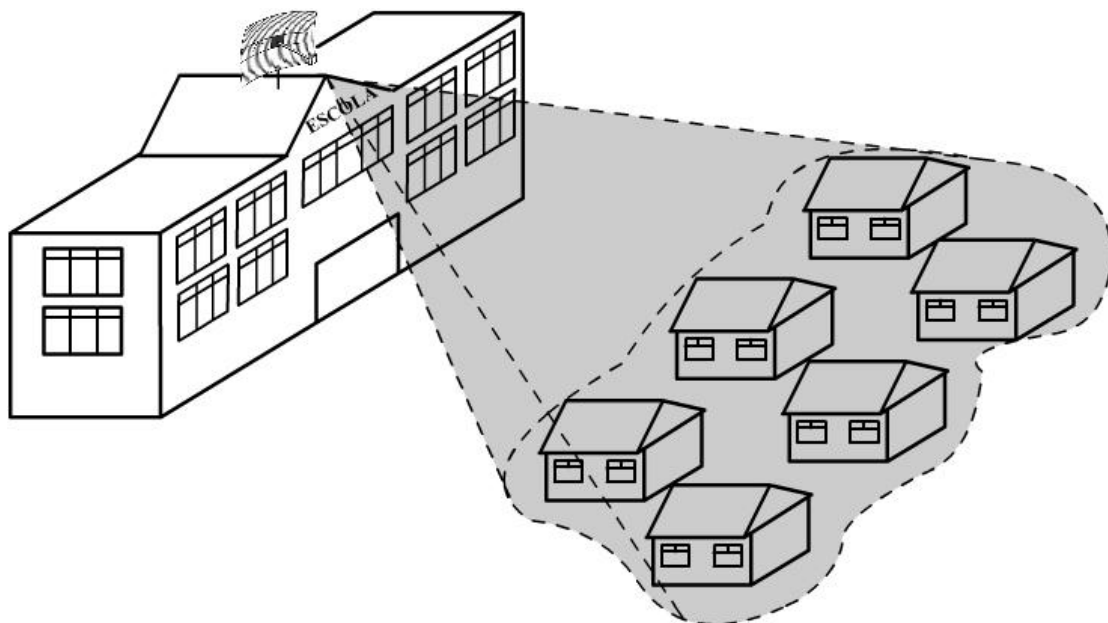


Figura 31 - Cobertura *outdoor*

Os requisitos de cobertura e capacidade também devem ser considerados na conectividade *outdoor*. No entanto, as variáveis que influenciarão estes dois fatores serão diferentes neste cenário. Para cobertura, as distâncias envolvidas serão maiores e existirão tipos diferentes de obstrução à propagação do sinal. Ao mesmo tempo, como, neste cenário, os *laptops* estarão mais distantes uns dos outros, formando uma rede esparsa, a interferência entre os nós é menor do que no ambiente denso, dentro de sala de aula.

No decorrer deste capítulo, serão detalhados, além da antena e AP, outros componentes necessários na instalação da infraestrutura que possibilitará a conectividade nos arredores da escola, como: cabos coaxiais, conectores, caixas herméticas e alimentação elétrica. E a partir dos resultados obtidos no teste apresentado em [44], será explicado como a topografia da região, ou a presença de obstáculos, influenciam na forma de propagação do sinal de rádio emitido pelo AP e pelos *laptops*, colaborando positivamente ou negativamente na área de cobertura alcançada. E, também, serão levantadas alternativas e boas práticas para aumento tanto da cobertura quanto da capacidade de redes sem fio externas.

6.1 ANTENAS

A grande maioria dos APs, principalmente os que são para utilização *indoor*, já vem com antenas de fábrica; no entanto, essas antenas quase sempre são omni-direcionais de baixo ganho (2dBi). Para se obter a cobertura de uma área maior, e com controle maior sobre as áreas em volta da escola que necessitam de cobertura, é necessário trocar a antena padrão do AP por uma de maior ganho e com padrão de irradiação adequado para cada cenário.

O ganho de uma antena está relacionado à sua capacidade de concentrar a potência do sinal irradiado em uma faixa restrita do espaço, fazendo com que a potência de irradiação nesta faixa seja aumentada em detrimento da potência nas outras direções. O padrão de irradiação é a forma geométrica através da qual o sinal é irradiado. A classificação mais usual de uma antena leva em consideração o padrão de irradiação, mais exatamente a forma com que a antena irradia seu feixe de maior ganho. As antenas podem, então, serem classificadas como:

- Omni-direcional - Irradia e recebe o sinal de forma equipotencial em todo o plano em volta do seu eixo. A distribuição de potência do sinal irradiado na direção do eixo varia de acordo com o ganho da antena. Quanto maior o ganho

de uma antena omni-direcional, maior é a concentração de energia dentro do feixe vertical (se o eixo da antena estiver na vertical), tornando-o mais estreito.

- Antena direcional - Concentra a potência que será transmitida (ou recebida) em uma determinada direção, ou seja, possui um alto ganho, o que se traduz em uma pequena largura do seu feixe (lóculo) de irradiação. Como consequência, a cobertura deste tipo de antena é privilegiada na direção e sentido para a qual está apontada, podendo alcançar distancias maiores quando comparada à antenas omni-direcionais.
- Antena setorial – Assim como as antenas direcionais, concentra o sinal em apenas uma direção, no entanto, como possui um ganho menor, a abertura do feixe é maior, cobrindo um setor maior em volta da antena. Quando comparada às antenas omni-direcionais, possui um alcance maior, mas o alcance é menor quando comparada às antenas direcionais.

As Figura 32, Figura 33, Figura 34 e Figura 35 mostram os padrões de irradiação simplificados dos tipos de antena supracitados.

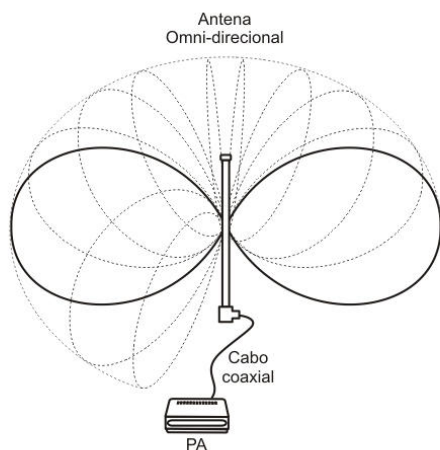


Figura 32 - Padrão de irradiação de uma antena omni-direcional de baixo ganho

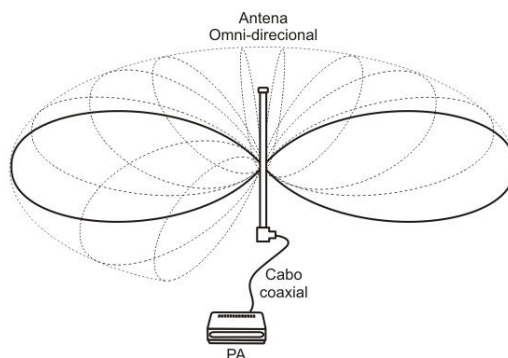
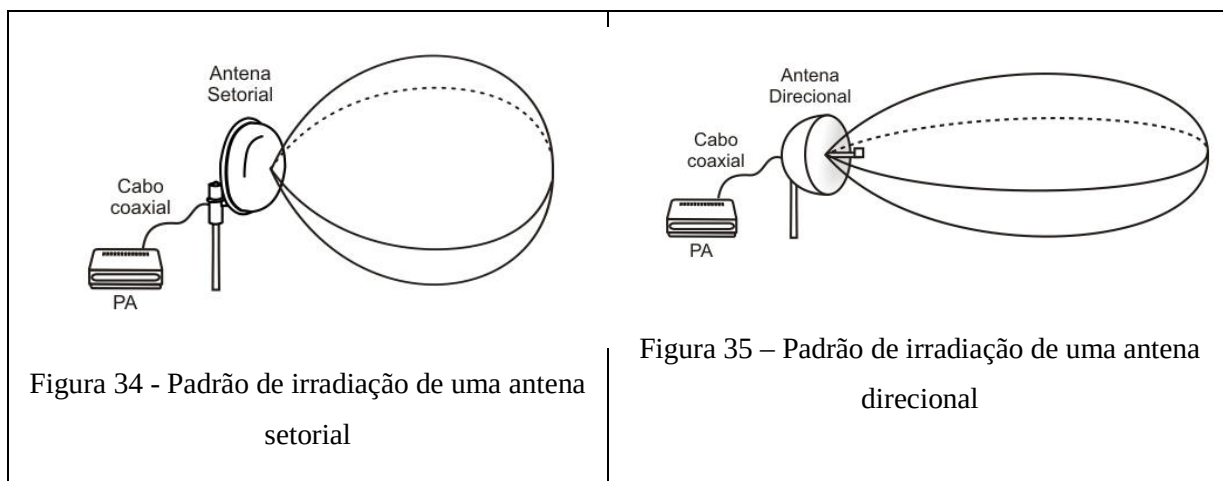


Figura 33 - Padrão de irradiação de uma antena omni-direcional de alto ganho



As Figura 32, Figura 33, Figura 34 e Figura 35 ilustram apenas os lóbulos principais de irradiação, isto é, os lóbulos de maior ganho. No entanto, todas as antenas possuem lóbulos secundários, de menor potência, em todas as direções. A Figura 36 mostra o lóbulo de irradiação traseiro de uma antena direcional. E a Figura 37 mostra o diagrama de irradiação completo de uma antena similar.

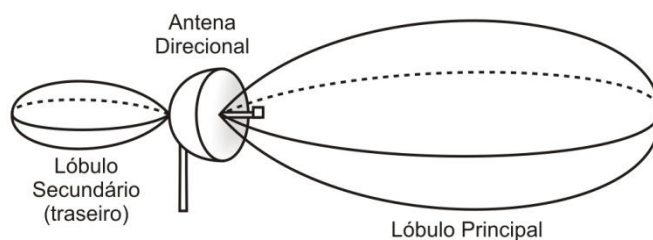


Figura 36 – Lóbulo secundário traseiro de uma antena direcional

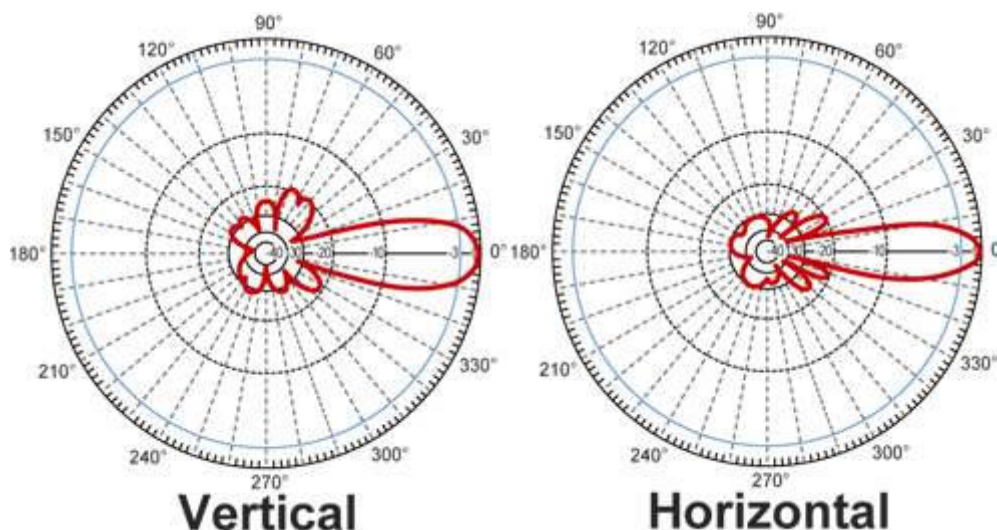


Figura 37 - Diagrama de irradiação direcional

É necessário notar que as antenas escolhidas devem ser projetadas para trabalhar na faixa de 2,4 GHz, que é a faixa de frequência utilizada pelos padrões IEEE 802.11 “b” e “g”. Se a emenda “a” do padrão fosse utilizada, a antena deveria ser específica para a faixa de 5.8 GHz. Além disso, é necessário que as antenas sejam instaladas em um local alto e desobstruído, para que seja permitida a propagação do sinal em suas redondezas.

6.2 PONTOS DE ACESSO

Assim como na conectividade *indoor*, o ponto de acesso continua sendo imprescindível para a cobertura externa à escola. As mesmas considerações feitas sobre capacidade dos APs, na Seção 4.2.1, continuam valendo aqui. Dependendo do número previsto de casas, ou usuários móveis em volta da escola, deve-se optar pelo uso de um AP *enterprise* ou um *customer-grade*.

Outra variável que pode influenciar a escolha do AP é o alcance exigido para cada cenário. Já foi visto na Seção 4.1 que APs *enterprise* possibilitam a configuração de potências mais altas, possuindo, com isso, um alcance maior. No entanto, deve-se estar atento à legislação brasileira para o uso de equipamentos que operam na faixa de frequência do Wi-Fi. A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) especifica que redes locais sem fio em ambientes urbanos, com mais de 400.000 habitantes, não devem trabalhar com potências de irradiação maiores do que 26 dBm (400mW). Para se enquadrar à legislação, os APs

customer-grade, vendidos no Brasil, usualmente são limitados a fornecer essa potência (a maioria fornece menos). Em ambientes rurais, é permitida a utilização de potências de até 30dBm (1W), e, neste caso, pode-se configurar potências mais altas. No entanto, é preciso entender que aumentar a potência do AP melhora a qualidade de comunicação apenas em um sentido, do AP para o *laptop*. O ganho real de alcance de alguns APs *enterprise* se deve mais a utilização de *array* de antenas. A utilização de amplificadores de potência, utilizando o esquema exposto na Figura 24, que amplifica tanto a transmissão, como a recepção, teria também traria ganhos reais de cobertura.

Alguns pontos de acessos, chamados de APs *outdoor*, possuem outras características que são próprias para uso externo. Esses APs são hermeticamente fechados, protegendo-os das intempéries e poeira, possibilitam o uso de PoE e possuem conectores próprios para acoplagem às antenas externas. É altamente recomendável que o AP instalado para conectividade *outdoor* possua essas características.

6.3 CABOS, CONECTORES, CAIXA HERMÉTICA E ALIMENTAÇÃO

Uma vantagem dos APs *outdoor* é presença de conectores externos que permitem a colocação de uma antena de acordo com a preferência do projetista da rede – a maioria dos APs *indoor* possui antenas internas diretamente conectadas na placa mãe do equipamento. Os conectores mais encontrados nos APs *outdoor* são do tipo R-SMA Fêmea ou RP-TNC Fêmea (Figura 38 e Figura 39), enquanto praticamente todas as antenas de alto ganho possuem conectores N-Macho ou N-Fêmea (Figura 40 e Figura 41). Para interligá-los é necessário algum dispositivo, que pode ser um adaptador ou um cabo coaxial com conectores compatíveis com as entradas da antena e do ponto de acesso.



Figura 38 – R-SMA Fêmea



Figura 39 – RP-TNC Fêmea



Figura 40 – N-Macho



Figura 41 – N-Fêmea

Os cabos coaxiais mais usados para antenas que utilizam a faixa de frequência de 2,4 GHz (utilizada no Wi-Fi) são o RG-58 (Figura 42) e o RG-213 (Figura 43). O RG-213, por ter um diâmetro bem maior, é mais rígido, o que torna difícil fazer curvas em pequenas distâncias. O RG-58, mais fino, insere uma perda maior no sinal eletromagnético, no entanto. Como a distância entre o ponto de acesso e a antena deve ser pequena, a perda não é fator crítico e a utilização desse último cabo é aconselhável devido à sua flexibilidade.



Figura 42 – Cabo RG-58



Figura 43 – Cabo RG-213

A utilização de fitas de alta fusão para proteção dos conectores é suficiente para garantir a conservação dos cabos coaxiais e conectores instalados em ambientes externos. Diferentemente, os pontos de acessos por serem equipamentos eletrônicos e, por isso, mais sensíveis, necessitam de uma proteção maior contra calor e umidade. Para isto, é utilizada a caixa hermética, que, além de proteger o AP, permite alojá-lo próximo à antena. A Figura 44 mostra como, através do auxílio de uma haste, uma caixa hermética deve ser instalada junto à antena.



Figura 44 – Caixa hermética e haste da antena

A questão da alimentação do equipamento instalado em ambiente externo é mais complicada do que para o ambiente *indoor*, pois o acesso a uma tomada elétrica é mais difícil, já que tomadas não são instaladas em locais expostos a chuva, o que exige, na maioria dos casos, uma extensão até um local coberto que possua tomada. Além do mais, a fonte do AP também deve estar protegida, exigindo que a caixa hermética seja maior para comportá-la. Por conta disto, a utilização de PoE para ambientes *outdoor* é ainda mais aconselhável do que no *indoor*.

6.4 AUMENTADO CAPACIDADE – MÚLTIPLOS APS

Um detalhe importante nesta análise é a questão da cobertura *versus* a questão da quantidade de usuários suportados. Uma região de interesse pode estar inteiramente coberta e, ainda assim, prover uma experiência de uso frustrante. Para prover conectividade a um grande

número de estudantes, em suas casas, deve-se seguir o caminho escolhido pelo Uruguai, utilizando pontos de acesso de alta capacidade, com múltiplos rádios, e mais caros.

Outra solução para o problema da capacidade seria a utilização de vários APs comuns, cada um ligado a um tipo de antena destinada a cobrir uma determinada região. Por exemplo, poderiam ser utilizados três APs em canais de frequência não interferentes (1, 6 e 11), sendo cada um deles conectado a uma antena setorial com 120° de abertura horizontal. Com isto, uma área de cobertura de 360° ao redor da escola seria obtida, e um melhor nível de sinal seria fornecido aos usuários. Além disso, um maior número de usuários poderia conectar-se simultaneamente, já que as capacidades de associação dos três APs seriam somadas. Porém, é importante notar que tal alternativa possui o custo três vezes maior do que a implementação de apenas uma antena e um AP.

6.5 AUMENTANDO COBERTURA – REDES *MESH* ESPARSAS

A literatura não oferece uma definição formal de rede densa ou esparsa. Em geral, considera-se rede sem fio densa aquela em que a competição pelo meio degrada o desempenho não apenas de cada nó participante, mas também do tráfego agregado. Redes densas são sujeitas a congestionamento e escassez do meio. Em contraposição, uma rede esparsa seria aquela em que o principal desafio é resultante da distância entre os nós. Neste sentido, o ambiente encontrado em uma sala de aula repleta de *laptops* educacionais, constituiria uma rede densa, ao passo que uma rede *mesh* formada por dispositivos distribuídos em uma área maior - espalhados por cômodos distintos ou casas próximas – constituiria uma rede esparsa.

A utilização de redes *mesh* esparsas possui dois principais objetivos: extensão da cobertura de um ponto de acesso da escola; e formação de uma rede em malha que permita aos *laptops* educacionais se comunicarem entre si, de suas casas. A formação de redes esparsas é espontânea - *laptops* educacionais, ao serem ligados dentro de uma mesma vizinhança, formam uma rede em malha.

A Figura 45 ilustra um cenário [17] onde é utilizada a rede *mesh* para estender a cobertura em volta de uma escola. As casas escuras possuem *laptops* que estão conectados à rede *mesh*, sendo que duas delas conseguem comunicar-se com a antena ligada ao ponto de acesso na escola mais próxima. Como o ponto de acesso, acoplado à antena, está ligado à rede

externa, estes dois *gateways* dão acesso à Internet para todos os nós que estão dentro da *rede mesh*.

Se um *laptop* dentro de uma casa clara conseguir comunicar-se com quaisquer *laptops* das casas escuras, ele entrará na *rede mesh*, podendo comunicar-se com qualquer um deles, e também terá acesso à Internet através de algum *laptop gateway*.

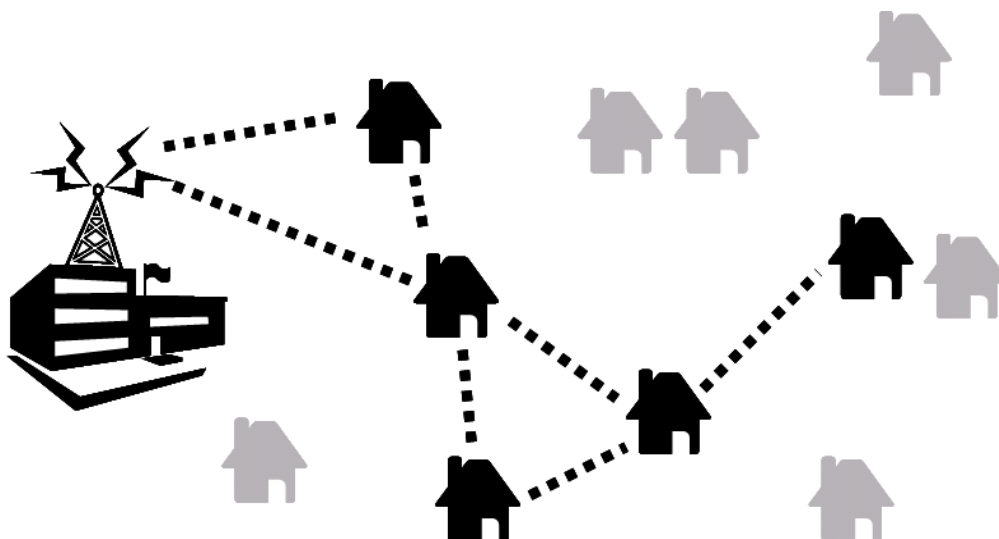


Figura 45 - A rede esparsa

Vale a observação de que a queda de um enlace em um caminho escolhido não implica falha na comunicação. A arquitetura em malha permite que a rota seja alterada dinamicamente (contanto que ainda haja caminhos possíveis) assim que haja quedas ou alguma outra opção de rota se mostre mais vantajosa.

A utilização do padrão 802.11s favorece esse tipo de cenário, pois, como o processamento do roteamento é todo em nível de enlace, é possível que o *laptop* continue funcionando como um roteador mesmo que ele esteja desligado. Para isto, o módulo de rádio deve ser alimentado independentemente através de uma bateria. O *laptop XO* utiliza essa arquitetura de *hardware*.

Ao contrário do que foi observado na Seção 5.1, em que foi desaconselhado o uso de redes *mesh* devido ao aumento de interferência e ao seu mau funcionamento em ambientes densos, no cenário de cobertura *outdoor* seu uso é mais adequado. Mesmo que a rede em malha esteja desconectada da escola – sem um *gateway* que de acesso à Internet –, a formação de uma rede entre os próprios *laptops* proporcionaria uma interação entre os estudantes, que,

através desta rede, poderiam participar de *chats*, compartilhar atividades e realizar diversas atividades em grupos.

No Capítulo 7 serão mostrados alguns testes de validação e desempenho do modelo ilustrado na Figura 45, mostrando também algumas de suas limitações.

7 TESTES DE CONECTIVIDADE *OUTDOOR*

Para exemplificar melhor a aplicação de alguns dos conceitos apresentados na Seção 6, será apresentado um estudo de caso, descrito com maiores detalhes em [44], que possibilitará os funcionários das escolas, mesmo sem experiência técnica, ou colaboradores, prever a área de cobertura que pode ser obtida com variados tipos de antena e o grau de influência que cada fator ambiental exerce nessa cobertura.

Caso o Governo Federal opte por profissionalizar a elaboração e instalação dos projetos de infraestrutura de rede nas escolas, através do Modelo Descentralizado, este estudo de caso pode servir como apoio às autoridades para validação do projeto realizado pelas empresas, evitando, assim, que o resultado final do projeto oferecido pela empresa terceirizada não se alinhe às necessidades do cenário da escola.

Também será demonstrado através de testes que as redes *mesh* esparsas, diferentemente das redes *mesh* densas originadas em ambiente de sala de aula, podem ser utilizadas para estender a cobertura do ponto de acesso instalado no topo do colégio ou prover conectividade entre os estudantes, de suas casas, através de uma rede *mesh* comunitária. Os testes de rede *mesh* esparsa se dividem em duas partes: Teste para prova de conceito em ambiente real, apresentado em [45], e testes com análises mais profundas em ambiente controlado.

7.1 TESTE DE COBERTURA PARA VARIADOS TIPOS DE ANTENAS

A escolha da antena a ser utilizada para provimento de conectividade externa à escola deve ser feita a partir da definição das áreas em volta da escola em que é desejada a cobertura. Pode-se desejar cobrir toda a área envolta da escola, o que demanda a utilização de uma antena omni-direcional, ou apenas uma área específica em dada direção, demandando a utilização de uma antena direcional ou setorial.

O teste documentado em [44] estudou os padrões de cobertura obtida com variados tipos de antenas instaladas no topo de um prédio de quatro andares. Durante os testes, as seguintes antenas foram utilizadas: direcional de 19 dBi; setoriais de 12 dBi com 60° e 90° de abertura horizontal; omni-direcionais de 8 e 12 dBi. Esse estudo inclui a influência das distâncias e tipos de obstrução que podem ser encontradas nos arredores da escola, já que as medições foram feitas em pontos com diferentes visibilidades em relação à antena.

O AP foi configurado para emitir um *beacon* a cada 100 ms, e durante 60 segundos um conjunto de *laptops* XO operando em modo monitor, distribuídos em uma área no entorno do prédio, realizavam a captura dos quadros registrando o nível de potência de cada um e calculando a média de potência entre todos os quadros recebidos e a porcentagem de quadros capturados em relação ao total de *beacons* enviados pelo AP no período.

A partir destes valores foram criados gráficos similares a mapas de calor, que podem ser vistos nas Figura 46, Figura 47, Figura 48, Figura 49 e Figura 50. Os círculos coloridos representam a média das potências e os números azuis mostram a porcentagem de *beacons* capturados. O número de identificação de cada ponto também é apresentado, estando logo acima dos valores azuis. A localização da antena está marcada com sua respectiva figura representativa, e a direção de alinhamento, no caso das antenas direcional e setoriais, está representada por uma linha tracejada branca. Esta direção corresponde à direção do ponto mais distante da antena, ou seja, o ponto 17, posicionado a 410 metros da antena.



Figura 46 – Omni-direcional 8 dBi



Figura 47 – Omni-direcional 12 dBi



Figura 48 – Setorial 12 dBi 60°



Figura 49 – Setorial 12 dBi 90 °



Figura 50 – Direcional 19 dBi

Os testes demonstraram que antenas omni-direcionais devem ser utilizadas quando se deseja cobrir toda a área em volta da escola. No cenário de teste, a antena omni de 8 dBi proveu melhor cobertura para os pontos localizados a até 400 metros da antena, ponto a partir do qual a antena de 12 dBi começou a levar vantagem. O que explica tal comportamento é a altura onde estava posicionada a antena – em cima de um prédio de quatro andares. Como as antenas de maior ganho possuem o feixe de irradiação mais estreito, elas criam uma zona de sombra nos locais próximos e abaixo da antena. A partir dos 400 metros o feixe adquiriu uma largura suficiente para atingir o solo, onde foram feitas as medições. Se o prédio fosse mais baixo, essa distância limiar seria menor.

As antenas setoriais mostraram ser mais adequadas quando se deseja cobrir uma área específica em volta da escola, enquanto a direcional foi mais eficiente ao cobrir o ponto 17, o mais distante. Acredita-se que se fossem realizadas medidas em pontos mais distantes e em direções próximas ao do ponto 17, o desempenho da direcional seria ainda melhor do que das setoriais. A explicação da diferença de desempenho entre a antena direcional e as setoriais é similar ao das omni-direcionais com diferentes ganhos, a abertura do feixe, mas neste caso, não apenas do feixe vertical, mas também do horizontal. Antenas direcionais possuem uma

abertura horizontal menor, prejudicando a cobertura de pontos próximos que estejam fora da direção de alinhamento da antena. Portanto, antenas direcionais são sugeridas apenas quando se deseja cobrir uma área mais distante ou uma região bem restrita do espaço.

Os testes também mostraram que pontos sem visada para a antena, por conta de obstruções, como prédios e árvores, tiveram a cobertura prejudicada. Outros pontos, porém, tiveram uma qualidade de cobertura contra intuitiva, com resultados abaixo ou acima do esperado. Tal fenômeno é compreensível em redes sem fio, devido aos inúmeros percursos que um sinal pode percorrer até atingir um determinado ponto. Os percursos podem ser feitos através de diferentes mecanismos de propagação como reflexão, difração, refração ou espaço livre, e o sinal recebido em determinado ponto é o somatório de todos esses sinais, podendo eles estar em fase, resultando em um sinal de boa qualidade, ou defasados, atenuando ou anulando o sinal recebido. Apesar do método de medição e equipamentos utilizados no experimento não sejam os ideais para averiguar a qualidade de cobertura – não há dissociação entre sinal desejado e ruído –, a idéia proposta por [44] é mostrar a viabilidade de um teste desta natureza utilizando equipamentos que estarão acessíveis nas escolas: APs e *laptops* educacionais.

Por fim, por melhores que sejam as técnicas e os programas utilizados na elaboração de um projeto de redes sem fio, a natureza dos sistemas de rádio é de alta variabilidade. Fatores como interferências, condições climáticas e, até mesmo, poda de árvores, causam uma variabilidade grande no padrão de cobertura. Depois de instalada, a qualidade de cobertura da rede deve ser constantemente reavaliada.

7.2 TESTES EM REDES *MESH* ESPARSAS

Primeiramente, esta seção apresentará testes qualitativos em um cenário real vislumbrado pelo projeto UCA, onde uma comunidade, com o auxílio da rede *mesh*, consegue se conectar à Internet utilizando a rede da escola. Posteriormente, devido à dificuldade de realização de testes em ambientes abertos, optou-se por reproduzir uma rede *mesh* esparsa em um ambiente *indoor*. Tais testes pretendem gerar resultados quantitativos que forneçam orientações sobre a viabilidade deste modelo de forma mais abrangente. Pelas características próprias das redes sem fio e pelo fato de não existir uma rede que modele todos os cenários possíveis em termos topológicos (afinal tratam-se de redes *ad hoc*, por definição), os

resultados destes testes se dedicam a definição de diretrizes e regras gerais a serem observadas com o objetivo de aperfeiçoar seu uso e determinar seus limites máximos teóricos.

7.2.1 Teste de *mesh outdoor*

Este teste foi executado durante o a primeira fase do projeto RUCA[45], como uma validação do modelo de rede *mesh* para extensão da cobertura de uma zona externa à escola. O experimento foi realizado na comunidade Vila Planetário, na cidade de Porto Alegre, RS. Uma antena omni-direcional de 8 dBi e um ponto de acesso foram instalados no alto de uma escola próxima à comunidade, e foi testada a formação da rede *mesh* entre os *laptops* posicionados dentro das casas (Figura 51) de cinco estudantes da Escola Luciana de Abreu (escola piloto do projeto Um Computador por Aluno), moradores da comunidade. A casa da Sabrina, representada na figura, serviu como nó *gateway* da rede *mesh*.

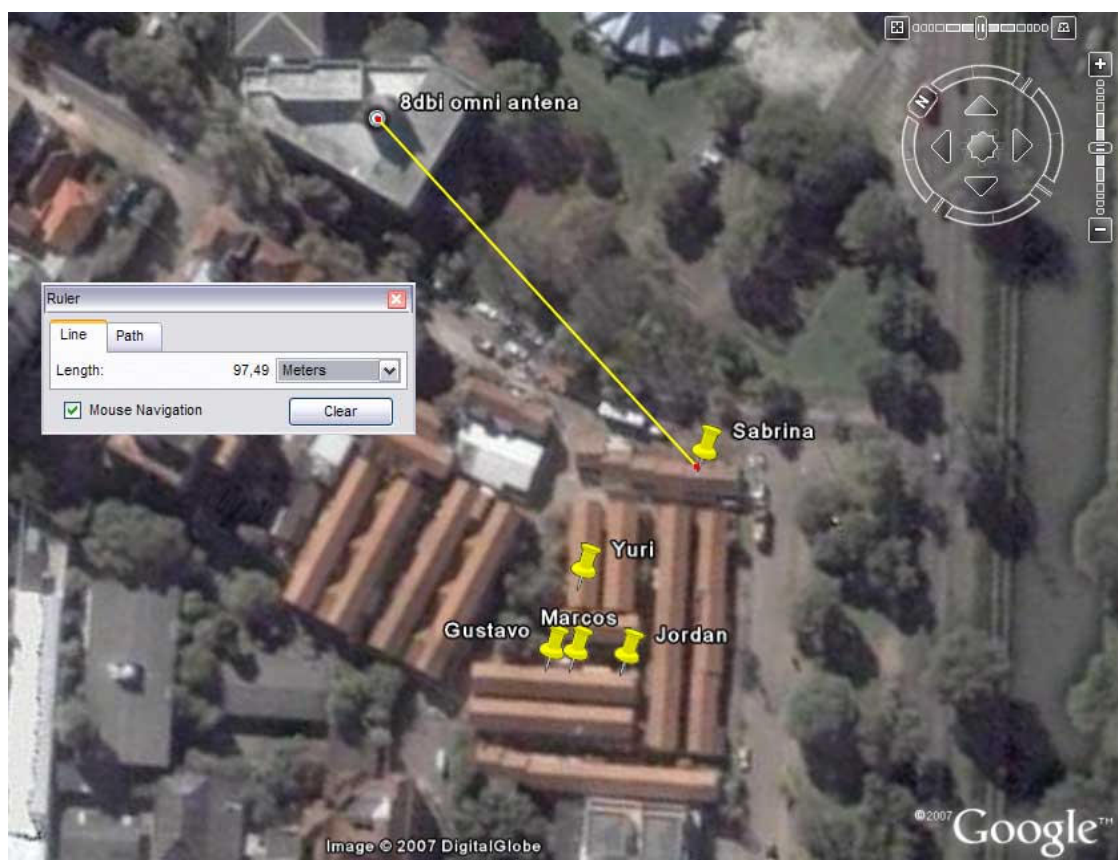


Figura 51 - Cenário de teste na Vila Planetário

Apesar de os testes servirem mais como prova de conceito, eles foram recebidos com considerável otimismo. Foi possível formar uma rede *mesh* quando a distância entre os *laptops*, operando dentro das casas, era da ordem de 20 metros. No conjunto habitacional onde o teste foi realizado, isso significa um *laptop* a cada três casas (cada telhado representado na Figura 51 cobre inúmeras casas). O uso de antena setorial proporcionaria o acesso direto, sem múltiplos saltos, à rede da escola por mais *laptops*, não só o da Sabrina. Optou-se pelo uso da omni porque se acredita que este será o tipo mais usado. Em um cenário similar (paredes finas de alvenaria, casas geminadas, número considerável de *laptops* e baixa interferência eletromagnética na faixa de 2.4 GHz), o modelo pareceu ser tecnicamente viável. As favelas do Rio de Janeiro, por exemplo, podem apresentar um resultado até melhor, devido à alta densidade habitacional e sua verticalização (em encostas), o que possibilitaria a comunicação em todas as direções.

7.2.2 Testes de *mesh indoor*

Os testes descritos a seguir medirão parâmetros típicos dos testes de redes computacionais, como vazão e latência em uma rede *mesh indoor*. Apesar de, *a priori*, parecer estranho abordar redes *indoor* no capítulo de conectividade *outdoor*, esta abordagem faz sentido porque está sendo utilizada, aqui, uma rede esparsa. Redes esparsas formadas por *laptops* espalhados entre salas diferentes, ou *laptops* dentro de casas próximas, são equivalentes quando o objetivo é formar uma configuração de rede em que cada *laptop* consiga se comunicar com um número limitado de nós, e a interferência entre eles seja baixa.

A Figura 52 representa o *testbed* instalado no bloco E do campus da Praia Vermelha, na UFF. Nesta instalação, 12 *laptops* XO foram distribuídos por laboratórios e salas de pesquisa, com o objetivo de estabelecer uma rede *mesh* esparsa.

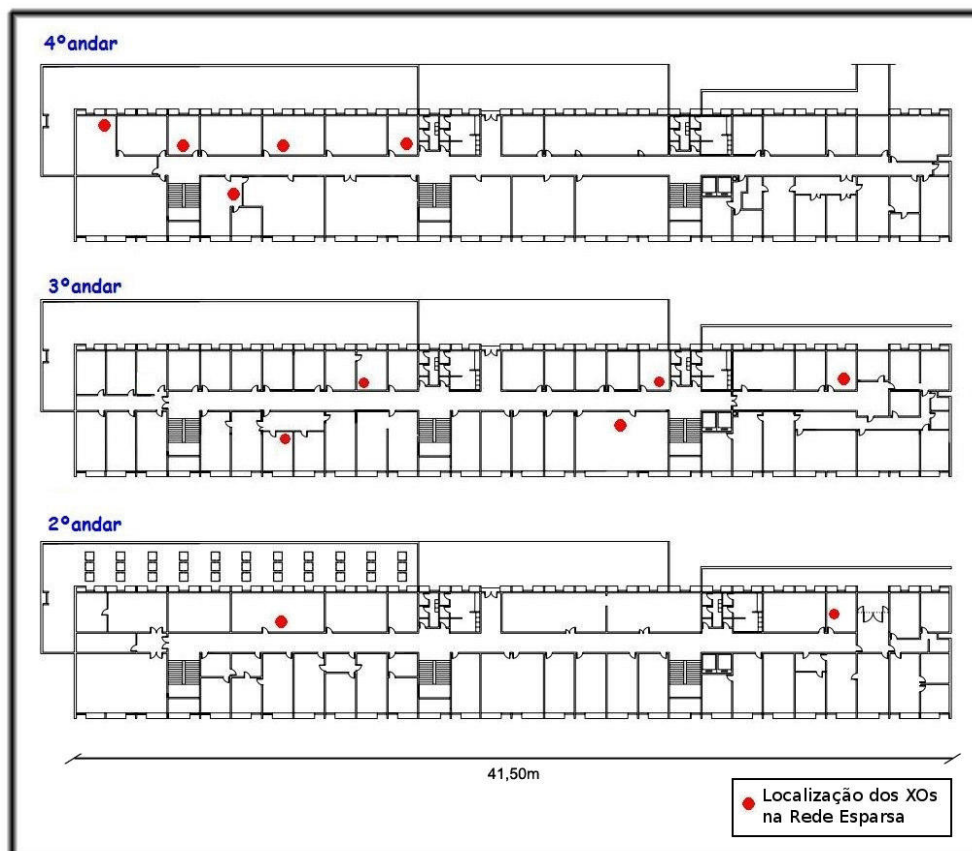


Figura 52 – Primeiro *testbed* com 12 *laptops*

Ao testar a conectividade entre nós extremos da rede, verificou-se que eles não se comunicavam. Observou-se a formação de duas nuvens (rede de *laptops*), uma entre os XO's à esquerda do prédio e outra à direita, como mostra a Figura 53.

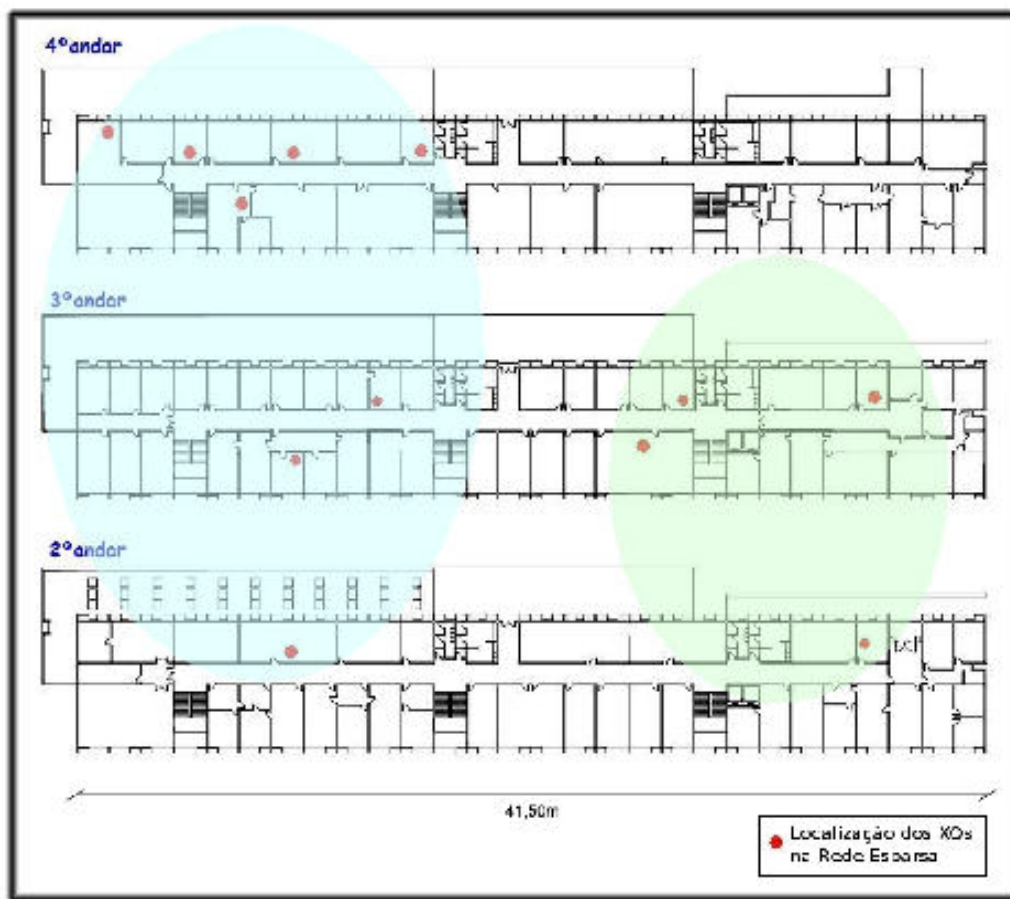


Figura 53 - Formação de 2 nuvens no primeiro *testbed*

Posteriormente, dois *laptops* foram adicionados, constituindo o *testbed* ilustrado na Figura 54. Esta medida possibilitou a formação de uma única rede, totalmente interligada (Figura 55). Fica claro, aqui, que uma distribuição homogênea dos *laptops* no ambiente auxilia na conectividade entre todos os nós. Concentrações de *laptops* em determinada região, e ausência deles em outros, geram ilhas de conectividade, cenário indesejável quando se pensa em estender a área de cobertura do AP da escola através dessa tecnologia.

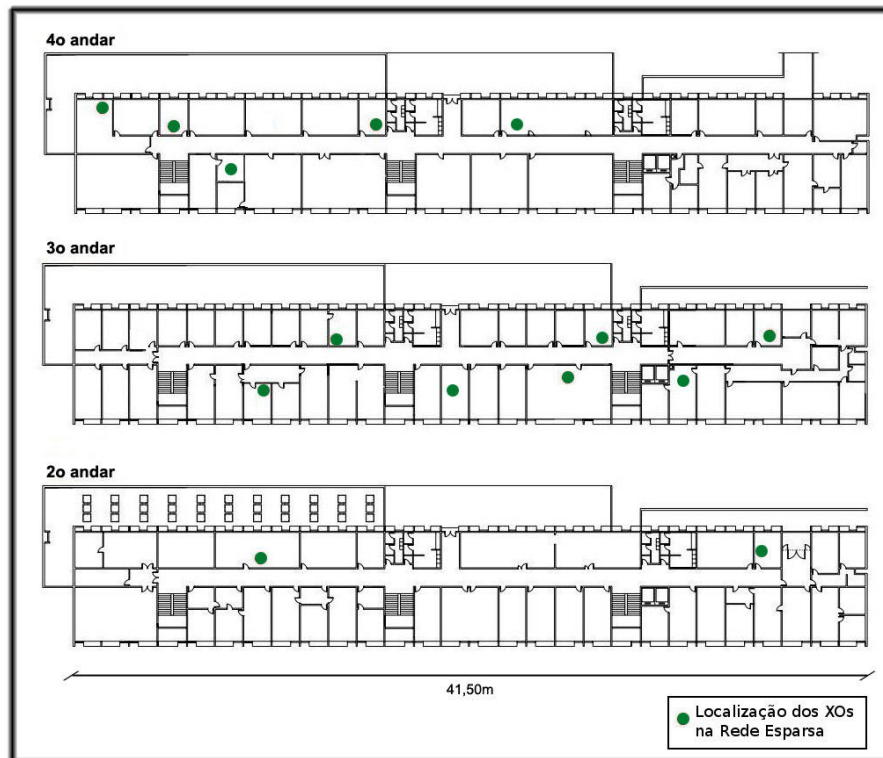


Figura 54 - Segundo *testbed* com 12 *laptops*

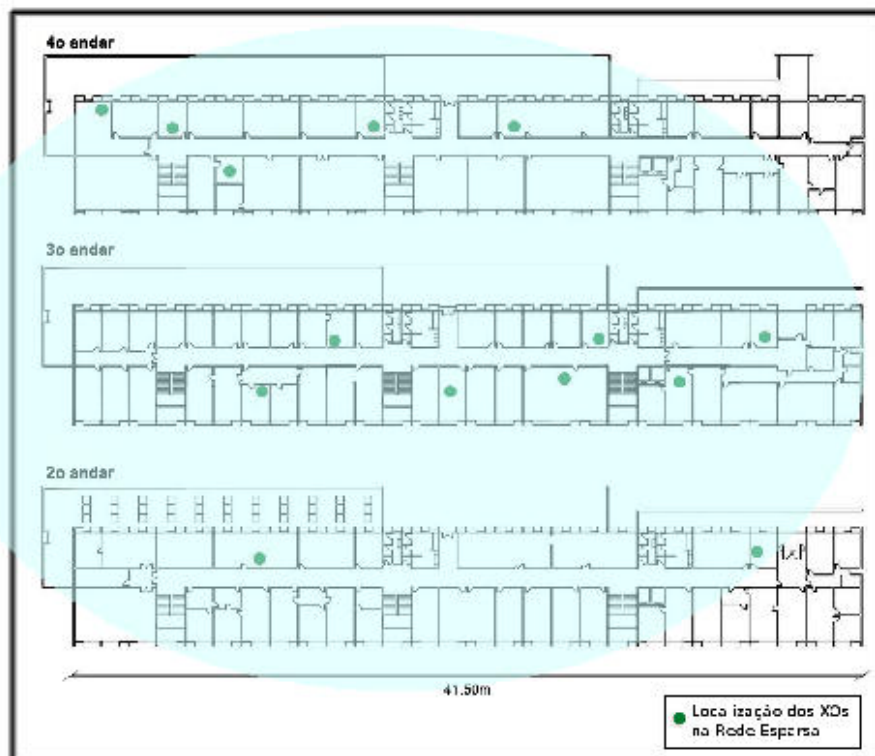


Figura 55 - Formação de 1 nuvem no segundo *testbed*

Antes do início dos testes, foi utilizado o analisador de espectro Wi-spy [46] para verificar qual dos canais da faixa frequência de 2,4 Ghz era o menos ocupado. Cada *laptop* registrou os níveis de interferência na faixa de frequência de operação do Wi-Fi por 24 horas. Observou-se forte presença de sinal de rádio nos canais 1 e 11; por conta disto, foi escolhido o canal 6.

Utilizando a ferramenta Scharaperf², foram criados 3 tipos de fluxos entre os *laptops* mais distantes: o mais à esquerda do quarto andar e o mais à direita do segundo andar. São eles:

- Fluxo leve (datagramas UDP de 64 bytes, em intervalo de 1 segundo = 512 bps)
- Fluxo médio (datagramas UDP de 512 bytes, em intervalos de 10ms ~ 400 Kbps)
- Fluxo intenso (datagramas UDP de 1024 bytes, em intervalos de 1ms ~ 8 Mbps)

Nos testes foram enviados 1000 segmentos UDP, variando o intervalo de envio e o tamanho do pacote, conforme o mostrado acima. Foram medidos: vazão e perda. O resultado é apresentado na Tabela 6

	Perda(%)	Vazão
Fluxo leve	99,4	3,072 bps
Fluxo médio	94,13	24,512kbps
Fluxo intenso	93,4	0,54 Mbps

Tabela 6 – Perda e Vazão para teste de conectividade *indoor* 1

² *Software* similar ao iperf, desenvolvido pelo Prof. Dr. Luiz Claudio Schara Magalhães, da Universidade Federal Fluminense, que gera um fluxo de dados legitimamente CBR, pois força através da aplicação o envio de um quadro a cada intervalo de tempo especificado, diferentemente do primeiro em que o aplicativo envia um bloco de dados para a camada 2 da pilha TCP/IP e esta que determina o momento de envio de cada um, podendo haver variação na taxa de envio.

Mesmo após o reposicionamento dos *laptops*, o *testbed* apresentou taxas de perdas muito altas, inviabilizando o uso desta rede para qualquer finalidade prática. Mesmo com a presença de fatores que degradam a comunicação - alta densidade de pessoas e equipamentos no prédio, estrutura bastante robustas (paredes e lajes reforçadas, para o abrigo de maquinário pesado), que são obstáculos a redes sem fio -, os resultados ainda foram bem abaixo do esperado.

Testes realizados na primeira fase do RUCA utilizando o mesmo *laptop XO*, no mesmo ambiente, apresentados em [28], tiveram resultados bem melhores, chegando a uma vazão perto de 2 Mbps para quatro saltos. A distância entre os nós das pontas era um pouco menor que a do teste atual, o que não justificaria tamanha diferença de desempenho.

Decidiu-se, então, investigar mais a fundo estes resultados, de forma a determinar as principais causas para o baixo desempenho - fora a causa óbvia da absorção da energia eletromagnética pelos obstáculos no caminho entre dois nós. As principais linhas de investigação foram:

- Verificar os efeitos da interferência de outras redes e fontes de ruído nos experimentos, caracterizando também sua transitoriedade.
- Fixar, para o valor máximo, a potência de transmissão dos *laptops*, de forma a melhorar a conectividade entre os nós, visto que a frequência de 2.4GHz, sobretudo com as baixas potências envolvidas, não é capaz de transpor obstáculos sem perdas significativas.
- Determinar a sanidade e eficiência do protocolo de descoberta de caminhos³ implementado nos *laptops*.

³ Como o padrão IEEE 802.11s (e a implementação da OLPC de rede em malha) são no nível de enlace, o conjunto de nós que encaminham um pacote entre o nó origem e o nó destino é chamado de *caminho* e não *rota* como seria normal em uma implementação no nível de rede. Os dois são bem similares, mas caminhos usam endereços físicos (MAC) enquanto rotas usam endereços lógicos (IP).

Interferência

Apesar da análise de espectro feito antes dos testes, é possível que durante o experimento tenham surgido outras fontes de interferência. Decidiu-se, portanto, realizar novos testes simultaneamente à análise de espectro. Tais testes serão descritos na Seção 7.2.3. Esta metodologia permite que seja investigada, com maior precisão, a influência das interferências nos resultados.

Potência

Durante os testes realizados na primeira fase do RUCA [28], a potência de transmissão do XO foi ajustada para o seu valor máximo: 20 dBm. Nos testes do RUCA 2, no entanto, optou-se por não fixar a potência, deixando o ajuste por conta do algoritmo de seleção de potência do XO (que na realidade foge ao padrão IEEE 802.11, que não prevê controle automático de potência de transmissão). Esta opção foi escolhida para que o teste se aproximasse o máximo possível do seu uso real; e como havia distâncias variadas, potências diferentes poderiam ser usadas. Entretanto, desconfiou-se que o algoritmo não estava funcionando eficientemente. Dúvida esta que logo foi desfeita em um teste ao registrar a potência de transmissão, indicada pelo *driver* da placa de rede sem fio, para várias distâncias diferentes. Mas o aumento de potência não resultava, nitidamente, em uma melhora da comunicação. Decidiu-se, então, verificar se a variação de potência indicada pelo *driver* era equivalente à real potência de transmissão do *laptop*.

Foi montado um cenário de teste com um XO em estado de repouso, apenas emitindo quadros de gerência (*beacons*). Um script mudava a potência de transmissão a cada um minuto, variando entre 0 dBm e 20 dBm, enquanto os *beacons* eram enviados. Este procedimento foi repetido três vezes para fins estatísticos. Outros três *laptops* convencionais – Asus, IBM Thinkpad e HP com Airpcap [47] - capturavam os *beacons* transmitidos pelo XO, e registravam a sua potência de recepção. A Figura 56 mostra a variação da potência de recepção nos 3 *laptops* monitores em função da potência de transmissão configurada no XO. Devemos apontar que a potência do sinal recebido, reportado por cada um dos *laptops*, não deve ser tomada como um valor absoluto da potência, e sim como uma medida que difere do valor real por (idealmente) uma constante. Isto se deve às diferentes antenas, posições, sensibilidade e calibração da placa de rede de cada um dos *laptops* que fazem a medida. No entanto, se todos medem o mesmo valor, diferindo apenas de uma constante, a medida permite uma inferência do que está acontecendo.

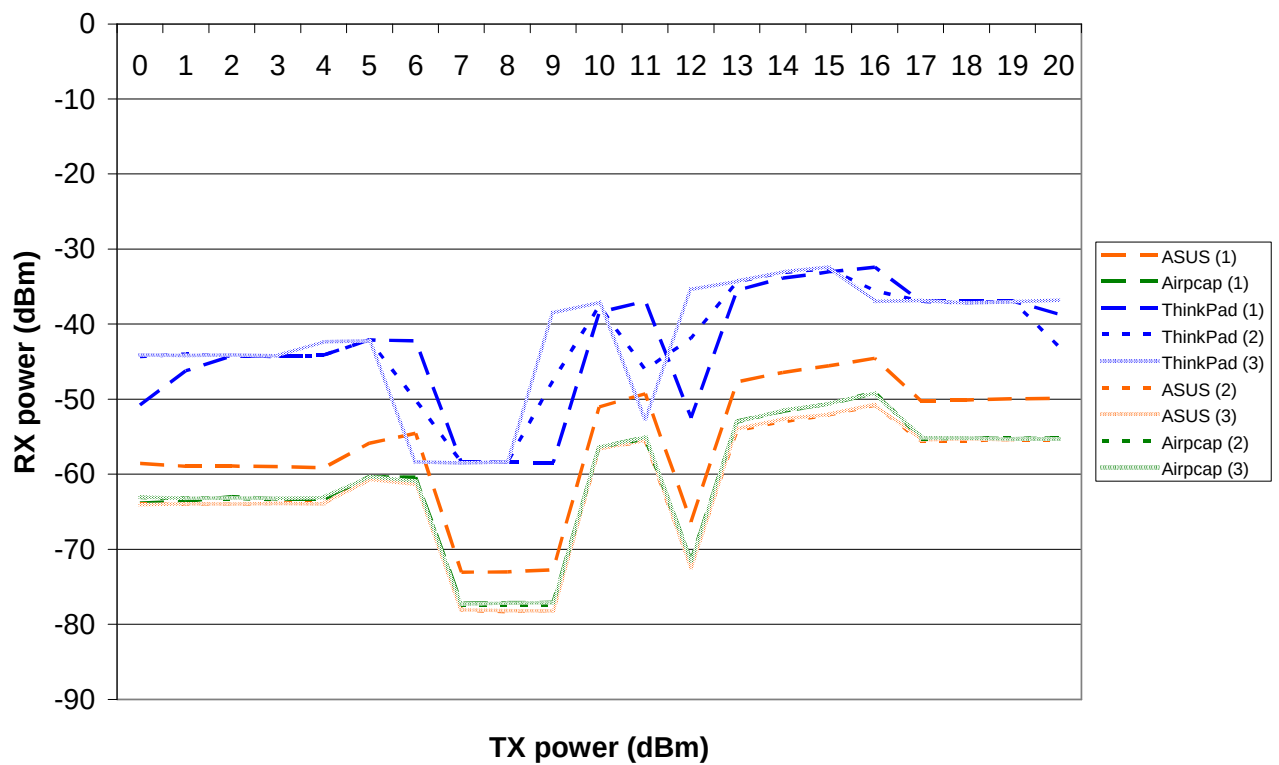


Figura 56 - Resultados do teste de potência

Os resultados dos três *laptops* monitores apresentaram o mesmo padrão de curva nas três baterias do teste, consolidando a conclusão de que o indicador de potência do *driver* não corresponde à sua real potência de transmissão. Portanto, pouca diferença há entre os ajustes de potência, e, possivelmente, esta potência é limitada a um valor abaixo dos 20 dBm, já que a preocupação maior da OLPC é diminuir a interferência no modo denso (sala de aula). Este resultado explica a piora de desempenho, comparado ao teste do RUCA 1, já que a potência não era limitada no *firmware* de rádio do *laptop* utilizado no primeiro teste, e o uso de potências mais altas é importante em redes esparsas.

Sanidade dos caminhos

Como nos testes realizados na primeira fase do RUCA os *laptops* estavam dispostos de forma linear, e as condições de teste mais estáticas (prédio vazio e sem nós móveis), a escolha dos caminhos era uma tarefa trivial. Já no teste atual, com *laptops* dispostos de forma mais aleatória, e com movimentação de pessoas pelo prédio, é possível que o protocolo de escolha de caminhos, utilizado pelo XO, não seja eficiente e escolha caminhos ruins, trazendo prejuízo na qualidade de comunicação.

Novos testes precisariam ser realizados para investigar a sanidade na escolha dos caminhos pelo *laptop* da OLPC. Tais testes serão descritos na Seção 7.2.3.

7.2.3 Testes de *mesh indoor* 2

O segundo teste de redes esparsas em ambiente indoor foi conduzido usando um conjunto de nós em número menor que o primeiro cenário, por dois motivos: um conjunto menor permite ter um maior controle sobre as rotas traçadas pelo protocolo de escolha de melhor caminho; e o laboratório possui apenas quatro analisadores de espectro Wi-Spy. Com um grupo menor de nós, é possível medir a interferência em toda a área de teste simultaneamente ao experimento.

Aproveitou-se a realização dos novos testes para verificar a influência de um usuário móvel na estabilidade dos caminhos e, conseqüentemente, nos outros parâmetros medidos (Vazão, taxa de perda e latência). O usuário móvel no âmbito do projeto UCA, dentro do cenário de conectividade externa, seria o estudante se deslocando com o *laptop* dentro de suas casas, ou pela rua. Em uma rede infraestruturada, um usuário móvel não causa impacto na rede, somente nele, pois ele é apenas um cliente. Já para a rede *mesh* proposta para o UCA, em que cada *laptop* é também um roteador, existe um impacto.

O novo *testbed* foi montado com quatro nós fixos e um móvel, formado com os *laptops* educacionais XO. Os *laptops* foram posicionados em laboratórios e salas de aula do bloco E da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, conforme o mapa da Figura 57. A primeira parte do teste fará a caracterização do fluxo de um extremo ao outro da rede formada apenas pelos quatro nós fixos. Em um segundo momento, um nó será conduzido seguindo um movimento de vai-e-vem num caminho fixo. Esse novo cenário será caracterizado e, em seguida, serão feitas comparações com o cenário anterior.

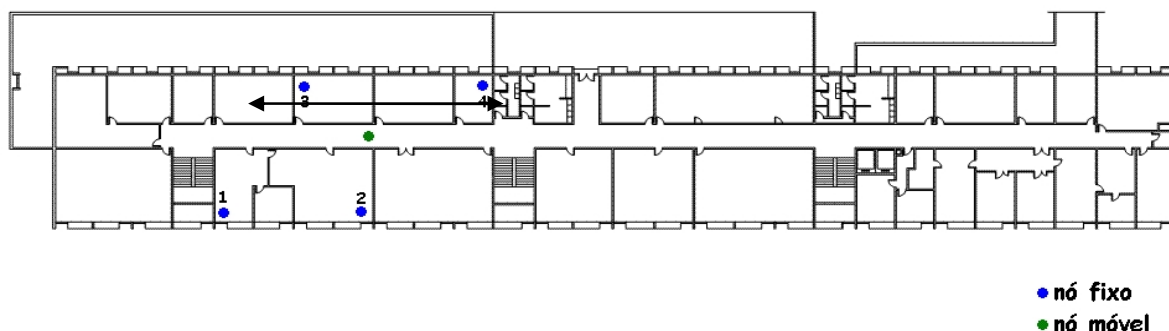


Figura 57 - Disposição dos nós de testes no Prédio da Engenharia – UFF

7.2.3.1 Caracterização da rede fixa

Utilizando apenas os quatro nós fixos da rede, foi gerado tráfego de dados entre os nós 1 e 4. Este tráfego foi uma sequência de 60 baterias de *ping* [48] com intervalos de 10 ms entre pacotes, tamanho de pacote 1400 bytes e um total de 6000 pacotes enviados por bateria. Através desta sequência pode-se calcular a latência, taxa de perda e vazão recebida. Para realizar uma análise dos caminhos utilizados, foram coletadas as tabelas de caminhos dos XOs a cada 10 segundos. Sincronizaram-se todos os relógios dos XOs, através do servidor ntp (RFC 1305) [49] e agendou-se o início das coletas dos caminhos e o início da sequência de *ping* para o mesmo horário. Com esse início sincronizado, puderam-se traçar os caminhos utilizados durante o teste com razoável precisão. Como a ferramenta *ping* envia cada pacote apenas após o recebimento da resposta do pacote anterior, o tempo de duração do teste é variável, o que resulta em um número também variável de rotas coletadas em cada teste. Para prover uma padronização nos scripts de tratamento dos dados, foram consideradas apenas 600 amostras de rotas em cada teste.

Resultados

Analisando a Tabela 7, observa-se uma variância considerável na latência, refletindo a grande quantidade de retransmissões na camada de enlace. Após um certo número de

retransmissões (sete ou quatro, na maioria das configurações) o transmissor desiste de transmitir o quadro, acarretando perda de dados. Neste teste, houve uma taxa de perdas alta (23%). Isto mostra que este *testbed 2* ainda tem os problemas do primeiro.

Menor latência média entre todas as baterias	5,591 ms
Média da latência média entre todas as baterias	102,53 ms
Maior latência média entre todas as baterias	1278,266 ms
Média da taxa de perdas entre todas as baterias	22,94%
Média da vazão recebida entre todas as baterias	488,02 kbits/s

Tabela 7 - Latência, Perdas e Vazão na Caracterização da rede fixa

Quanto aos caminhos, a maior parte, quase 80% dos pacotes seguiu o caminho passando apenas pelo nó 3, enquanto que 18% fez o caminho direto e pouco mais de 1% seguiu um caminho que faz todo o circuito. A Tabela 8 mostra a distribuição de caminhos escolhidos, em um total de 600 amostras.

Porcentagem	Valor Absoluto	Caminhos Escolhidos
18.833%	113	1->4
79.5%	477	1->3->4
1.666%	10	1->2->3->4
	600 amostras	

Tabela 8 - Caminhos escolhidos na Caracterização da rede fixa

7.2.3.2 Impacto da mobilidade sobre a rede fixa

Neste teste, além dos quatro nós fixos, foi colocado um nó móvel em movimento entre a rede fixa. Através deste experimento buscou-se observar se o nó móvel trará um impacto sobre a rede. Neste cenário, o nó móvel pode ter um efeito benéfico sobre a rede, por transitar entre os nós do *testbed* e criar mais caminhos para o tráfego, talvez melhores que os já existentes. No entanto, suspeita-se que o deslocamento do nó móvel poderá também ter efeitos ruins, pois o deslocamento pode quebrar caminhos existentes, e uma dessincronização entre as tabelas de caminhos pode gerar um *loop*, quando pacotes ficam sendo enviados entre pares ou conjunto de nós sem chegar ao destino.

Para realizar uma comparação entre o cenário anterior e este cenário, os mesmos testes foram repetidos.

Resultados

Uma variância de latência proporcional à encontrada nos testes da caracterização da rede fixa foi obtida nos testes do impacto da mobilidade sobre a rede fixa. A média da latência menor indica que houve menos retransmissões na camada de enlace e menos quadros são perdidos, resultando numa maior vazão recebida. A Tabela 9 mostra os resultados obtidos

Menor latência média entre todas as baterias	5,107 ms
Média da latência média entre todas as baterias	26,82 ms
Maior latência média entre todas as baterias	1400,133 ms
Média da taxa de perdas entre todas as baterias	4,4%
Média da vazão recebida entre todas as baterias	797,74 kbits/s

Tabela 9 - Latência, Perdas e Vazão na caracterização da mobilidade sobre rede fixa

Quanto aos caminhos, a inclusão do nó móvel causou uma maior diversidade na escolha dos caminhos, sendo que este foi usado como caminho em mais de 80% das 600 amostras. A Tabela 10 mostra a distribuição de caminhos escolhidos,

Porcentagem	Valor Absoluto	Caminhos Escolhidos
1.5%	9	1->4
30.166%	181	1->5->3->4
16.333%	98	1->3->4
0.333%	2	1->2->4
49.833%	299	1->5->4
0.333%	2	1->2->3->4
0.833%	5	1->2->5->4
0.166%	1	1->2->5->3->4
	600 amostras	

Tabela 10 - Caminhos escolhidos no impacto da mobilidade sobre a rede fixa

Tanto os resultados de latência, vazão e perda como os registros dos caminhos escolhidos provam que, para o *testbed* montado para este teste, o impacto da inclusão do nó móvel foi positivo.

O nível de interferência no ambiente do teste se mostrou mediano, e constante, durante todos os testes. Acredita-se, então, que nenhum teste foi privilegiado, ou prejudicado, frente aos demais, por conta da condição interferente do ambiente. No entanto, a comunicação com redes *mesh*, como em qualquer rede sem fio, em um ambiente livre de interferências, apresentaria resultados melhores.

7.3 CONCLUSÃO SOBRE CONECTIVIDADE *OUTDOOR*

O estudo de conectividade *outdoor*, assim como na conectividade *indoor*, deve levar em consideração as questões de cobertura e capacidade. Primeiramente, deve-se fazer um levantamento da quantidade de alunos que moram próximos à escola, e poderiam ser contemplados pelo projeto. Com este número, a quantidade de pontos de acesso necessários para suprir a demanda deve ser calculada.

O ponto de acesso deve, então, ser instalado no topo da escola junto à antena mais adequada para o determinado cenário. Deve-se também estar atento aos cabos e conectores usados – eles devem prover a compatibilidade entre o ponto de acesso e a antena. Outros itens que merecem atenção são: haste bem fixada, caixa hermética e alimentação. Soluções utilizando APs *outdoor* facilitam a instalação e manutenção do ponto de rede, pois dispensam cabos, caixa hermética, e possibilitam alimentação através de PoE.

Este documento mostrou um estudo de caso para previsão de cobertura com diferentes antenas. É possível, através desse estudo, ter uma idéia sobre que tipo de antena é a mais adequada para variados cenários e regiões de cobertura desejadas. Antenas omni-direcionais devem ser usadas caso se deseje cobrir todas as direções em volta da escola, enquanto antenas direcionais (direcionais ou setoriais) devem ser usadas caso apenas uma direção precise ser coberta. O ganho da antena deve ser escolhido de acordo com a distância em que as casas estão localizadas; quanto mais longe estiverem as casas, maior deve ser o ganho.

Quando mais de um AP é necessário, para suprir o número de clientes, um número de antenas equivalente também deve ser usado. Para um cenário onde todo o entorno da escola precise ser coberto, ao invés de se utilizar três antenas omni-direcionais, é mais vantajoso utilizar três antenas setoriais com abertura horizontal de 120°. Tal solução, além de cumprir o papel de cobertura em um ângulo de 360°, provê uma cobertura maior. O uso de APs *enterprise*, com múltiplos rádios e *array* de antenas, é outra possibilidade para aumento de cobertura e capacidade.

Este capítulo também mostrou, e demonstrou através de testes, como as redes *mesh* podem ser usadas para aumentar a cobertura de uma rede. Durante o teste de caracterização da rede fixa, foi observado que a decisão tomada como melhor caminho foi condizente com a disposição espacial dos nós. Verificou-se, assim, que o algoritmo de seleção de caminhos do *laptop XO* em um ambiente de rede esparsa funcionou de forma eficaz, não

formando loops de caminhos, e nem tomando decisões de enlaces ruins.

Os testes também demonstraram que a inserção de um nó móvel cria caminhos que, apesar de mais instáveis, são bem escolhidos, aproveitando de maneira oportunista a presença do nó móvel, que se encontrava em posição privilegiada. Nós móveis podem contribuir positivamente para o desempenho geral da rede, se resultar em um aumento de sua densidade e possibilidades de bons caminhos. Uma rede mais densa apresenta distâncias menores e, como consequência, enlaces mais viáveis. Isso reflete a tensão entre as redes densas e as esparsas. Em redes muito densas, o nível de competição é elevado e os congestionamentos podem ser frequentes e severos, ao passo que em redes muito esparsas, as distâncias envolvidas resultam em perdas elevadas e enlaces inviáveis. O ponto ideal, em termos de densidade, não pode ser esperado em redes *ad hoc* que, por definição, são formadas espontaneamente. No caso da mobilidade, então, a topologia é ainda mais imprevisível e, evidentemente, mutável. O ideal seria o que o *laptop* obtivesse um mecanismo de adaptação à cada tipo de ambiente, diminuindo a potência e frequência de envio de quadros de gerenciamento em redes densas e fazendo o oposto em redes esparsas.

É preciso sublinhar que estes testes devem ser repetidos em outros dispositivos a serem usados nas escolas brasileiras, visto que o comportamento do protocolo de descoberta de caminhos, assim como o ajuste de potência, é específico de cada fabricante.

O modelo de rede *mesh*, para MANETs, possui limitações técnicas, devido à grande atenuação causada por obstruções (paredes, pessoas, móveis, etc.) presentes na linha de visada dos *laptops*. Outro fator limitante das redes *mesh* é o número de saltos, que é inversamente proporcional à vazão oferecida, principalmente por conta da auto-interferência entre os nós. Portanto, não é possível estender muito uma área de cobertura, com boa qualidade de rede, utilizando a rede *mesh* apenas com *laptops*.

Uma infraestrutura adicional é necessária para prover cobertura e banda maiores. Utilizar antenas externas de maior ganho no topo das casas pode ser uma solução. Nesse caso, deve haver alguma forma de repassar esse sinal captado externamente para dentro da casa. Uma composição de antenas pode servir também para essa aplicação, adicionando apenas outra antena dentro da casa e um cabo coaxial ligando-o a antena externa, como mostra a Figura 58. Esta solução ainda não foi testada na prática, mas ela permitirá os *laptops* a receberem o sinal com uma potência bem maior, devido ao ganho inserido pela antena externa e, ao mesmo tempo, evita que o sinal perca potência ao ter que atravessar as paredes da casa. Consequentemente, taxas mais altas poderão ser utilizadas na comunicação casa-escola.

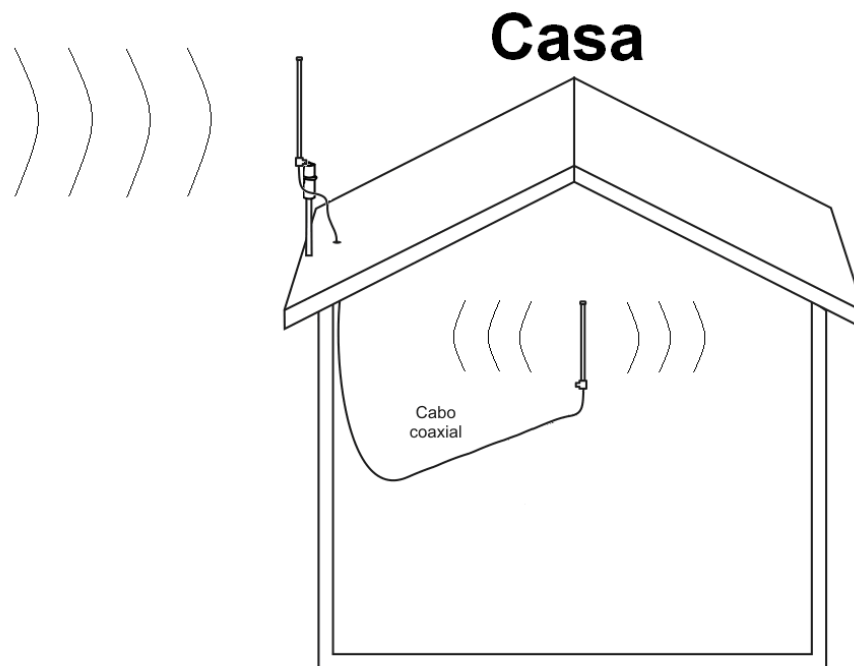


Figura 58 - Rede *mesh* com antena externa nas casas

Outra alternativa seria a utilização de repetidores na área de cobertura desejada. Esses repetidores formariam uma rede *mesh* conhecida como WMN (*Wireless Mesh Network*), e poderiam ser instalados em postes de rede elétrica ou topos de prédios ou casas. Este modelo é mais eficiente por três motivos: os repetidores seriam fixos, podendo ser colocados em lugares apropriados, de forma a deixar a distribuição dos nós mais homogênea e as distâncias apropriadas; os repetidores *mesh* poderiam ser colocados em lugares altos, com isso, a comunicação entre eles sofreriam menos atenuação por obstruções; por último, como os repetidores são pontos de acessos, e não *laptops*, potências mais altas poderiam ser ajustadas e antenas de maior ganho também poderiam ser utilizadas. A Figura 59 mostra uma rede desse tipo, utilizada pela UFF no projeto ReMesh [50], cujo objetivo era prover acesso banda larga à Internet para os alunos que moravam próximo ao campus. Essa solução é a que garantiria maior banda e cobertura, mas é também a mais cara, pois exige o uso de um roteador sem fio por ponto de repetição do sinal.

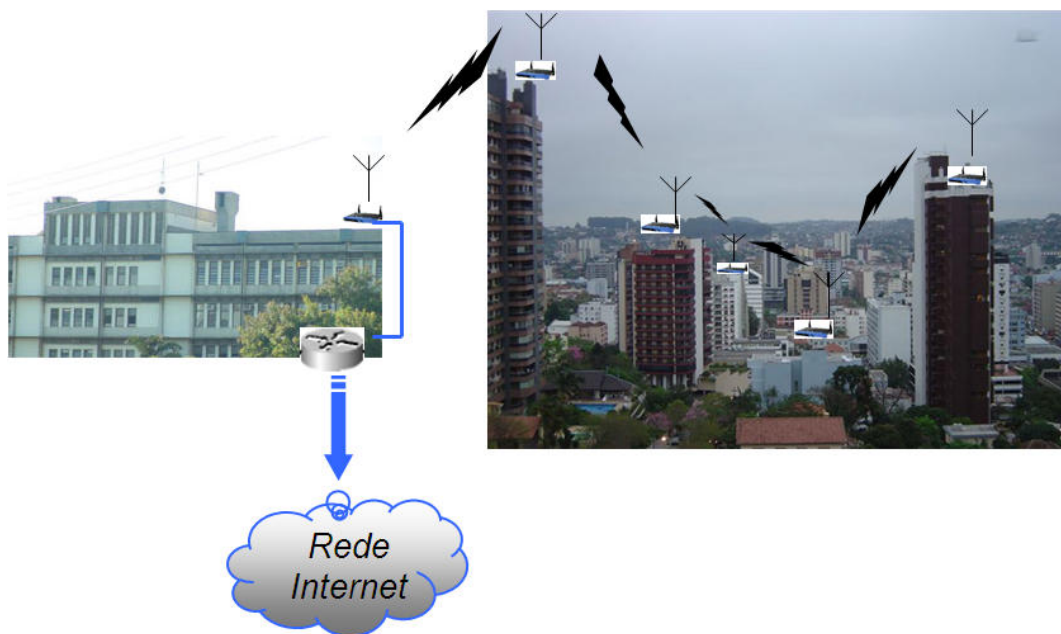


Figura 59 - Uso de repetidores *mesh*

8 MATERIAL DIDÁTICO

A confecção de material didático, que explique os pontos básicos para o entendimento de redes sem fio, pode servir para diversos propósitos, dependendo do modelo de gestão de projeto adotado. Caso a escola opte por instalar a infraestrutura de rede sem fio por conta própria, o material serviria como um tutorial, aos funcionários da escola ou colaboradores, para tal tarefa. O material também serviria, em conjunto com os estudos apresentados neste trabalho, para orientar as secretarias estaduais e municipais de educação na elaboração dos editais para contratação dos serviços de preparação da rede sem fio, para a implantação do Projeto UCA nas escolas.

Alguns benefícios que o material didático poderá trazer são comuns aos Modelos Autônomo e Descentralizado. A confecção deste material não pretende formar profissionais especializados em redes sem fio; mas as informações apresentadas permitirão ao leitor, funcionários ou autoridades locais, evitar algumas armadilhas simples e lidar com problemas básicos e típicos, além de introduzir a conceituação e o jargão necessários para interagir com profissionais e fornecedores de equipamentos e soluções em redes sem fio. Com tais conhecimentos, os funcionários das escolas poderão usufruir melhor os recursos da rede sem fio e até reparar pequenos problemas que vierem a surgir, economizando tempo e dinheiro de manutenção. Por último, todo o conhecimento apresentado neste trabalho, e, de certa forma, resumido e simplificado no material didático, servirá tanto às autoridades locais, quanto aos funcionários, na validação do trabalho executado pela empresa contratada.

O projeto RUCA, em uma parceria do laboratório MídiaCom/UFF, da ESR (Escola Superior de Redes) e do MEC, optou pela confecção do material didático sob o formato de cartilhas [51], pois este valoriza a comunicação direta, podendo ser lidas facilmente e rapidamente. As cartilhas estão ricamente ilustradas com figuras e tabelas de referência, além de glossário e referências listadas ao lado do conteúdo relacionado. São compactas e fáceis de transportar para os locais de trabalho ou estudo.

As cartilhas estão organizadas de forma que podem ser lidas de forma independente, reunindo os diversos aspectos das redes sem fio Wi-Fi. O conteúdo foi dividido da seguinte forma:

- Introdução (Figura 60)- Descreve os objetivos almejados com a elaboração deste material e toca, de passagem, os outros tópicos que serão abordados mais detalhadamente nas cartilhas.
- Redes sem fio (Figura 61) – Introdução aos conceitos básicos das redes sem fios Wi-Fi. Equipamentos necessários, padrões vigentes e capacidades teóricas e práticas desta tecnologia.
- Propagação de ondas (Figura 62) – Conceitos básicos para entendimento do que é uma onda eletromagnética, utilizada em todas as redes sem fio e apresentação dos principais mecanismos de propagação de ondas: espaço livre, reflexão, refração e difração.
- Antenas (Figura 63) – Principais tipos de antenas, suas características e cenários práticos do uso de cada tipo.
- Planejamento de instalação (Figura 64) – Metodologia padrão de planejamento de instalação de uma rede sem fio Wi-Fi.
- Configuração do ponto de acesso (Figura 65) – Guia de configuração de dois dos pontos de acessos mais populares.
- Segurança (Figura 66) – Mecanismos de segurança para redes Wi-Fi mais conhecidos e a importância deles para a integridade, autenticidade e privacidade na comunicação.
- Projetos de redes sem fio (Figura 67) – Estudos de caso projetos de redes sem fio que demonstram na prática alguns dos conceitos apresentados nas cartilhas anteriores.

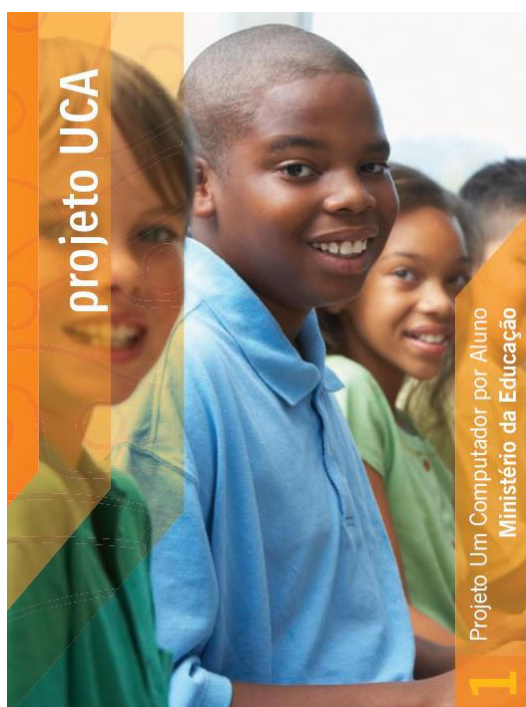


Figura 60 – Cartilha Introdução



Figura 61 – Cartilha Redes sem fio

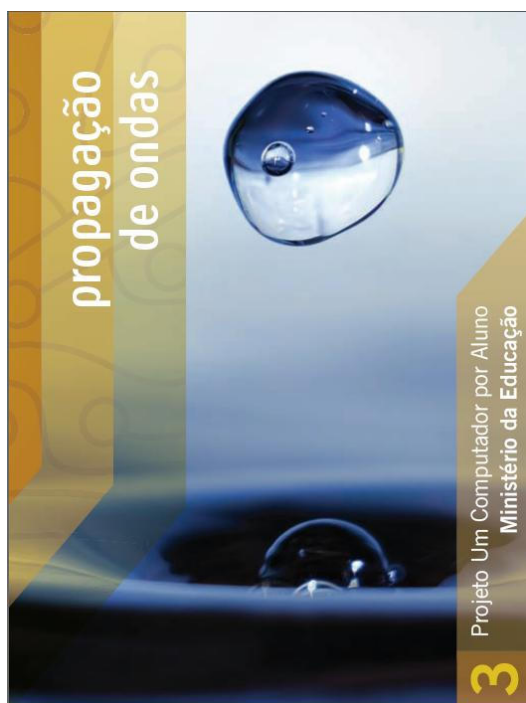


Figura 62 – Cartilha Propagação de ondas

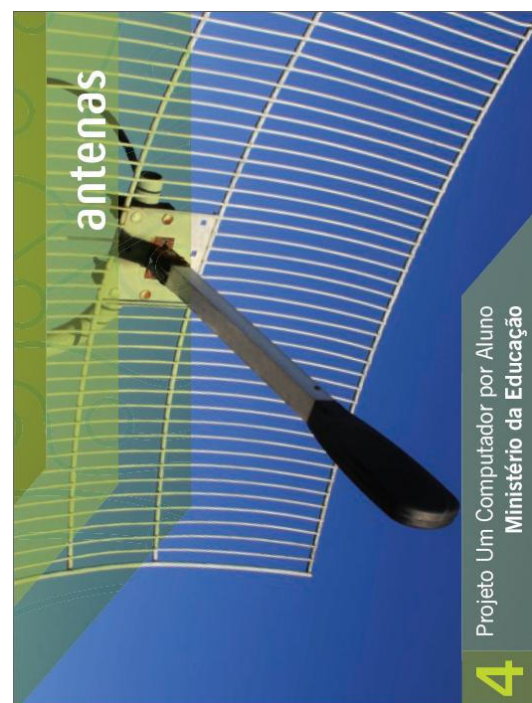


Figura 63 – Cartilha Antenas



Figura 64 – Cartilha Planejamento de instalação

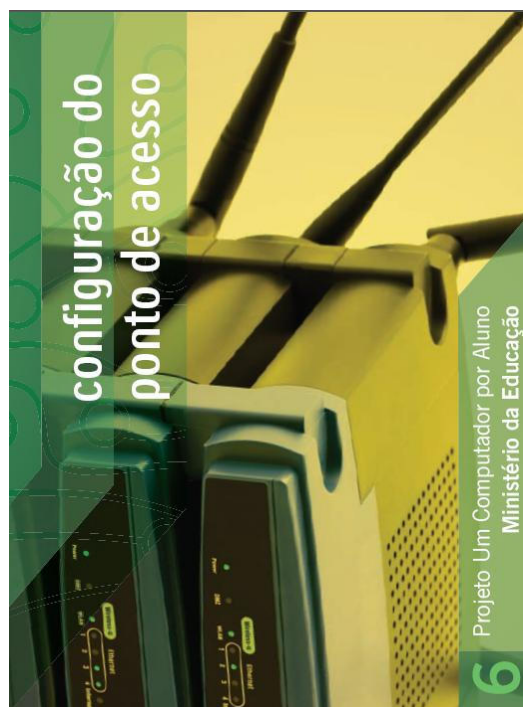


Figura 65 – Cartilha Configuração do ponto de acesso

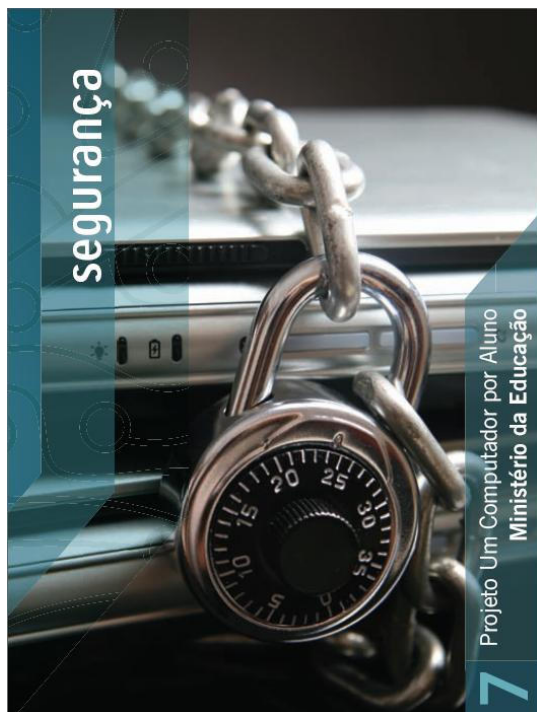


Figura 66 – Cartilha Segurança



Figura 67 – Cartilha Projetos de redes sem fio

9 SOFTWARE DE APOIO – BESTPLACE

A instalação dos pontos de rede internos e externos das escolas pode ser bastante simplificada, e feita com mais agilidade, se *softwares* apropriados forem usados para auxiliar tal tarefa.

Na Seção 4.3, foi vista a técnica de *site survey*, muito importante para realização do projeto de conectividade sem fio, tanto *indoor* quanto *outdoor*. Existem diversos *hardwares* e *softwares* (como o Yellow Jacket [52]) apropriados para realização do *site survey*, no entanto, eles são geralmente caros, e exigem um alto grau de conhecimento técnico para o seu manuseio. O provimento de um *software* livre e de fácil uso pode aumentar a fluência de empresas aptas a concorrer nos processos licitatórios, com uma redução de custo significativa.

Esta seção apresenta como o *software* BestPlace (BP), desenvolvido pelo Laboratório MídiaCom para o Projeto RUCA 2 e documentada em [53], pode ser usado para auxiliar as empresas contratadas, ou até pessoas sem conhecimento técnico, na instalação de um ponto de acesso através de um método automatizado, barato e eficiente de medição do sinal. O programa também pode ser usado, sem alteração alguma, para escolha da melhor antena, ou alinhamento da mesma, para determinado padrão de cobertura almejado. E o melhor, utilizando os equipamentos que serão fornecidos às escolas pelo Governo.

No momento do desenvolvimento do *software*, o Governo Federal ainda não havia definido o modelo de *laptop* que seria distribuído às escolas, o projeto RUCA 2 optou por customizar o *software* para operar em *laptops* XO, os únicos modelos de que o Laboratório MídiaCom dispunha em quantidade suficiente. No entanto, por ser uma ferramenta de código aberto, escrita em *python* e *gtk* [54] e desenvolvida para funcionar em sistemas GNU/Linux, esse *software* pode ser facilmente modificado para operar com outros modelos de *laptops*, ou melhorado caso haja necessidade.

9.1 FUNCIONAMENTO BÁSICO

Para a realização dos testes, um computador deverá funcionar como “servidor” e os outros deverão se comportar como “clientes”. Os clientes devem ser espalhados pela área em que se deseja prover cobertura: cômodos dentro da escola (conectividade *indoor*), e casa dos alunos ou outros ambientes externos (conectividade *outdoor*). Eles exercem a função de medir a intensidade de sinal proveniente do ponto de acesso. Quanto maior a área de cobertura, mais *laptops* clientes devem ser usados.

Ao executar o programa no servidor, uma mensagem *Multicast* é enviada aos *laptops* clientes. Essa mensagem contém o comando que inicializará a execução do programa em todos os *laptops* clientes e a identificação (SSID) do AP utilizado.

Ao receber essa mensagem, os *laptops* clientes entrarão em modo monitor, que é o modo que possibilita à interface de rede capturar todos os pacotes que cheguem até ela. No modo convencional de operação (*managed*, em português, *infraestruturado*), isso não seria possível, já que a interface de rede sem fio descartaria os quadros que não fossem destinados a ele. Após um minuto, a captura é finalizada e os *laptops* voltam ao modo *infraestruturado*, se associando novamente ao AP e enviando os resultados, já tratados, ao servidor.

O *laptop* servidor, ao receber os resultados dos clientes, faz a soma dos *beacons* e das potências médias provenientes de todos os pontos de medição. Esses valores são apresentados em uma tabela *HTML* que pode ser vista através de um *browser* (navegador *web*).

Depois de terminada essa etapa, o AP deve ser instalado em outra localização dentro daquela zona de cobertura planejada, ou sua antena trocada ou realinhada, para que uma nova bateria de medição seja feita. Assim, o processo de trocas de mensagens entre servidor e clientes se repete, e uma nova tabela com os resultados é obtida. O servidor compara esta tabela com as previamente existentes e define o melhor local para se posicionar o AP. Esta definição se baseia no número de *beacons* coletados e nas médias e variâncias de potência entre os valores obtidos nas diferentes posições.

Resumidamente, o funcionamento do BestPlace, para cada ponto de instalação do AP, segue as seguintes etapas (a Figura 68 (passos 1 a 4) e a Figura 69 (passos 5 a 8) ilustram essas etapas):

- 1) Preencher os dados na interface gráfica.
- 2) Envio da instrução de captura de *beacons* a todos os *laptops* (clientes).
- 3) Os *laptops* (clientes) iniciam o processo de captura e processamento da informação.
- 4) Paralelamente à etapa 3, os *laptops* confirmam o recebimento da instrução (isso é transparente ao usuário).

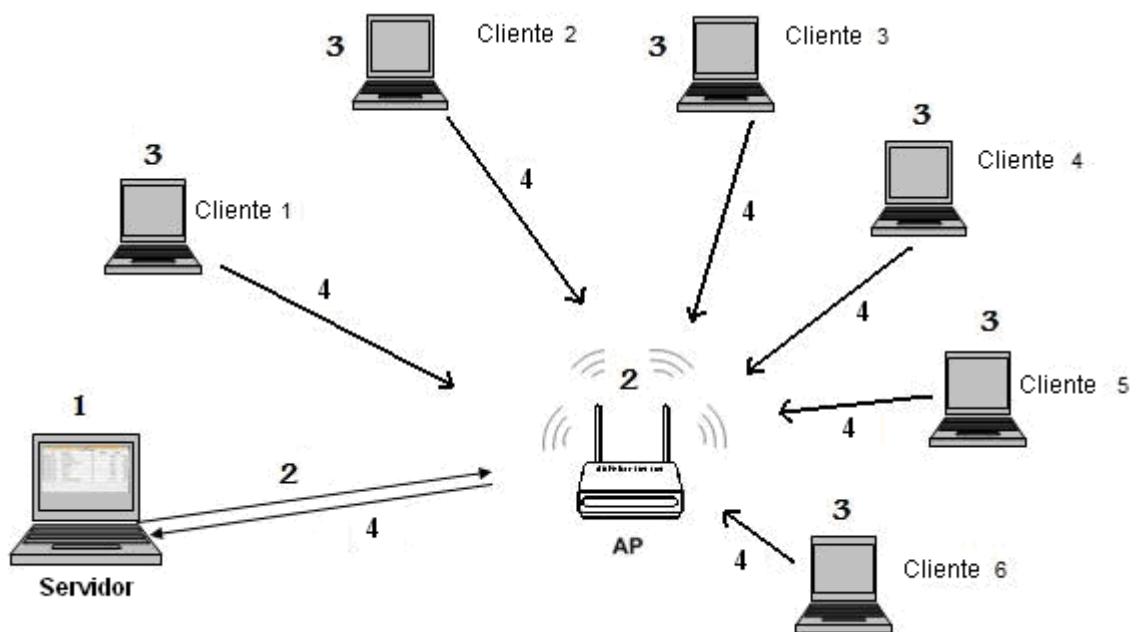


Figura 68. Requisição de captura de *beacons* do servidor aos clientes

- 5) Depois de alguns minutos, o servidor faz requisição dos resultados aos clientes.
- 6) Clientes processam o pedido.
- 7) Clientes enviam os resultados (número de *beacons* capturados e potência média dos quadros) ao servidor.
- 8) O servidor exibe na tela os resultados da captura dos *laptops* (clientes).

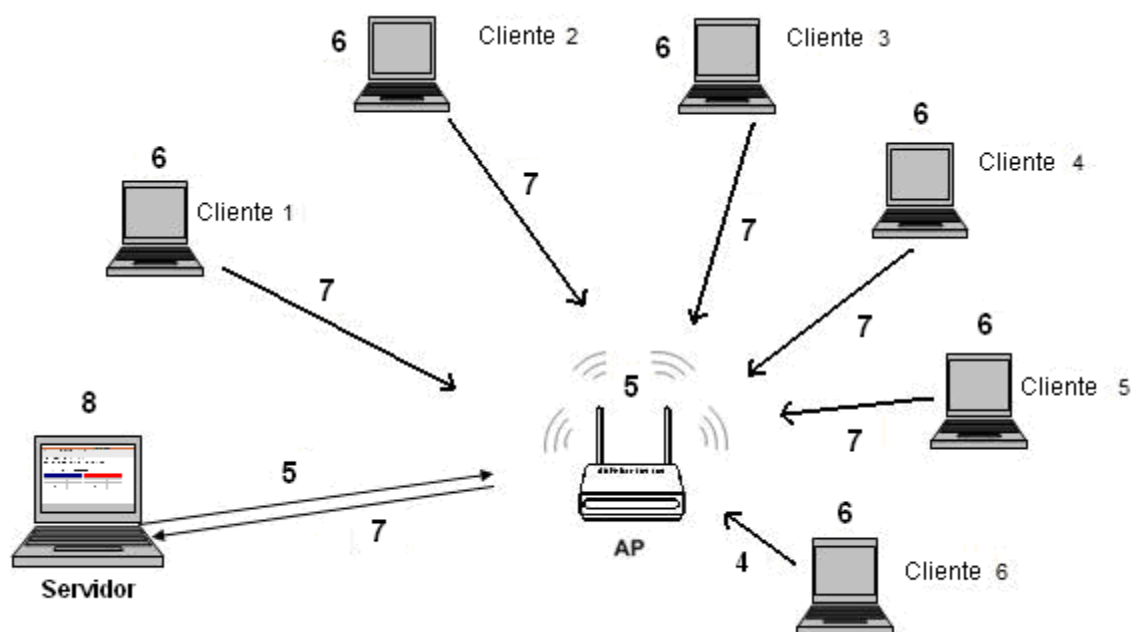


Figura 69. Requisição de resultados do servidor aos clientes

9.2 ARQUITETURA DO SOFTWARE

A Figura 70 mostra a arquitetura do *software* BestPlace. A primeira divisão na arquitetura é a da instância de servidor, que será executada a partir de algum *laptop* convencional, ou até *desktops*, e a instância de cliente, que rodará nos *laptops* educacionais, e servirão como equipamentos de medição da qualidade de cobertura do ponto de acesso. O servidor e diversos clientes se comunicam através de *sockets* implementados em um bloco de códigos, presente nas duas instâncias, denominado, aqui, de “Comunicação Cliente/Servidor”.

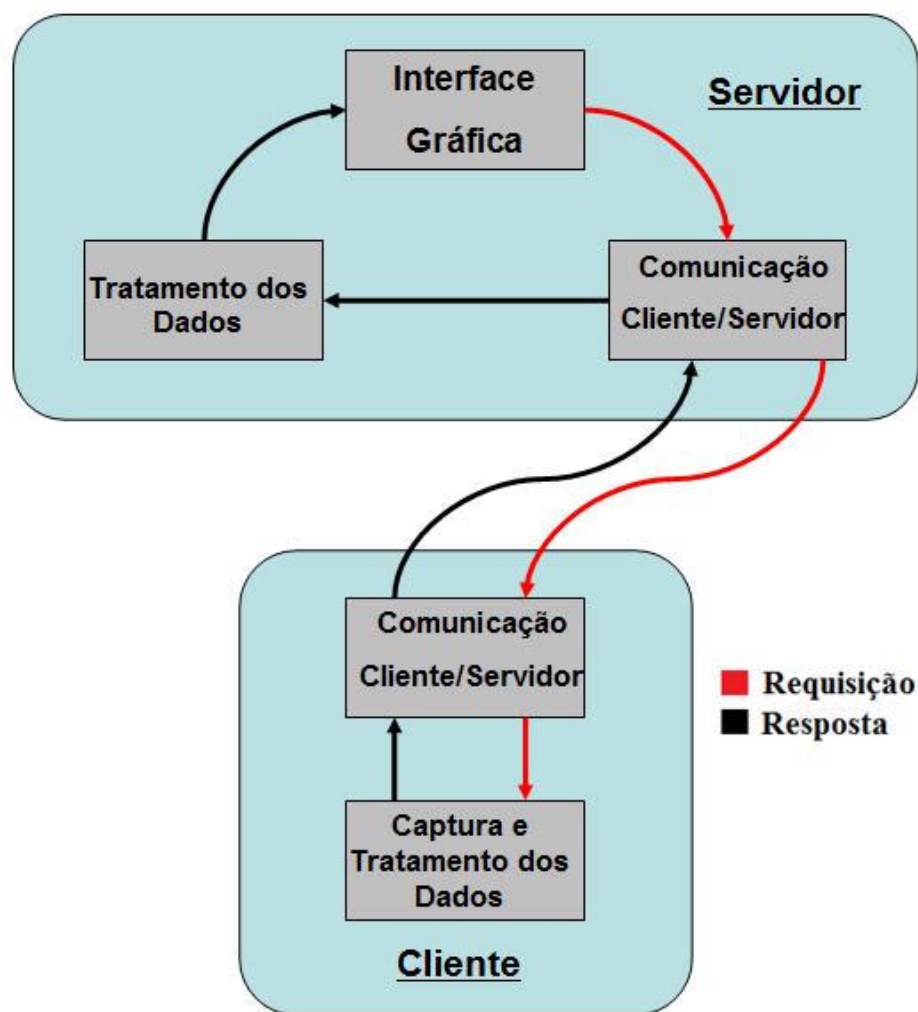


Figura 70 - Arquitetura do BP

A outra parte do programa do cliente, “Captura e Tratamento dos Dados”, como o nome diz, é o código responsável por capturar os *beacons* provenientes do AP, medir sua potência e calcular o número de quadros recebidos e a média e a variância da potência desses *beacons*. Isso é feito da seguinte forma: a interface de rede sem fio é colocada em modo monitor. Logo após, o programa evoca a ferramenta Tcpdump [55] para realizar a captura dos quadros 802.11 durante o intervalo de tempo de 60 segundos; na etapa seguinte, após coletados os dados, o *software* utiliza a ferramenta Tshark [56] para filtrar o campo de potência contido no cabeçalho *radiotap* dos quadros de *beacon* que possuísem o número MAC de origem do AP; após a filtragem, a média e a variância dessas potências é calculada; por último, a interface é colocada novamente em modo infraestruturado e o bloco de “Comunicação Cliente/Servidor” atua novamente para enviar esses dados ao servidor.

A escolha desse método de medição, com a captura de *beacons*, se baseou no fato de que esse tipo de quadro é emitido pelo AP independentemente do tráfego existente no canal e de forma periódica, ou seja, com intervalo conhecido, o que permite a obtenção da relação de aproveitamento (*beacons* recebidos/*beacons* enviados), com razoável precisão, em um determinado intervalo de tempo de medição. Além disso, esse método dispensa o uso de outros equipamentos juntos ao AP, para gerar tráfego, facilitando o processo. Esse mesmo método foi utilizado nos testes com cabos irradiantes, composição de antenas e conectividade outdoor.

O servidor, ao receber os resultados dos clientes, precisa realizar novos cálculos para determinar a média e a variância da potência e o número de *beacons* recebidos em todos os pontos de medição. Tal tarefa é realizada no bloco “Tratamento de Dados”, do servidor. Esses novos resultados serão, então, mostrados para o usuário através da interface gráfica do programa.

A interface gráfica, desenvolvida em *gtk*, também é usada na requisição da captura. Nesta etapa, o usuário deve passar alguns dados ao programa, como: pontos de medição, local de instalação do AP, ou tipo de antena utilizada, e o SSID da rede.

9.3 INSTALAÇÃO

A princípio, qualquer computador com sistema operacional GNU/Linux pode utilizar o *BestPlace*. Para isso, é necessária apenas a instalação do *software Wireshark* [57], facilmente encontrada nos repositório das principais distribuições GNU/Linux, e cópia de diversos *scripts*, com permissões adequadas, para os diretórios apropriados. Para o *laptop* servidor há apenas uma restrição: deve possuir interface gráfica desenvolvida em *gtk* (como o ambiente gráfico *Gnome*). Para utilização em sistemas que utilizam o KDE, é necessária a instalação da biblioteca *python-gtk2*.

A seguir, são listados todos os arquivos presentes no *software BestPlace* e as respectivas permissões e diretórios em que devem ser copiados.

Arquivo	Diretório	Tipo de Permissão
AplicInfo.py	/opt/BestPlace/	700
APLogParser.py	/opt/BestPlace/	700
capbeacon	/usr/bin/	700
capturar	/root/	700
cat	/root/	700
Comper.py	/opt/BestPlace/	700
ComperMensagens.py	/opt/BestPlace/	700
ComperUtil.py	/opt/BestPlace/	700
daemonize.py	/usr/bin/	700
Dados.xsl	/opt/BestPlace/	700
DadosAP.py	/opt/BestPlace/	700
labratd	/usr/bin/	700
labrat-client	/usr/bin/	700
labrat-dispatcher	/etc/NetworkManager/dispatcher.d/	700
XO.cfg	/opt/BestPlace/	700
XO.py	/opt/BestPlace/	700

Tabela 11 - Arquivos, localização e permissão

O usuário não precisará se preocupar com as dependências, nem com o local e permissão de cada arquivo. Junto ao arquivo BestPlace.zip, que contém todos os arquivos acima, foram criados o script BestPlace_INSTALL, que realizará todo o processo de instalação automaticamente e o script BestPlace_Remove, que realiza a desinstalação do programa. Para instalar o BestPlace, basta copiar esses três arquivos para a pasta /root e executar o seguinte comando no terminal:

```
# sh BestPlace_INSTALL
```


Observe que o usuário deve estar na lista de *sudoers* do sistema operacional. E o computador deve estar conectado à Internet no momento da instalação.

Como já foi dito, o programa foi customizado para funcionar em *laptops XO*. Caso deseje-se utilizar o *software* em outros modelos de *laptops*, pequenas mudanças são necessárias nos arquivos *BestPlace_INSTALL* e *capbeacon*.

9.4 UTILIZAÇÃO

Inicialmente, para a utilização do programa, é necessário que a área de cobertura desejada do AP seja identificada, levando em consideração os locais esperados de uso da rede pelos alunos. Após isso, devem ser escolhidos: os possíveis locais de instalação do AP, levando em conta a existência de pontos de energia e cabo de rede, necessários para a sua instalação, e de preferência, em um local alto próximo ao centro da zona de cobertura desejada; ou os tipos de antenas que serão testadas, caso seja usado para a conectividade *outdoor*. A seguir, alguns *laptops*, rodando a instância de cliente do programa, devem ser espalhados dentro da área de cobertura desejada e o AP deve ser ligado em um dos possíveis pontos de instalação, ou acoplado a uma das antenas escolhidas, para a realização de medições pelo programa.

Ao iniciar o programa *BestPlace* no *laptop* servidor, surgirá na tela a janela mostrada na Figura 71. A seguir, o usuário deve inserir as informações necessárias ao funcionamento do programa em cada campo desta janela. Nesta etapa, tanto o servidor como os clientes já devem estar conectados ao ponto de acesso que será monitorado. O servidor pode estar conectado via cabo de rede.

The image shows the initial window of the BestPlace program. It has a title bar and a main area with a light beige background. At the top, there is a label "Laptops (IP:Local)" above a large, empty white rectangular text area. Below this, there is a label "Ponto de Acesso". Underneath, there are two input fields: "Local do AP:" followed by a small white box, and "Nome da Rede:" followed by a larger white box. At the bottom, there are three buttons: "Capturar", "Sair", and "Exibir Resultado".

Figura 71. Janela inicial do programa *BestPlace*

No campo “Dados dos *Laptops* (IP:Local)” devem ser inseridos o número IP e a localização dos *laptops* clientes utilizados nas medições. As duas informações devem ser separadas por dois pontos e deve-se pular a linha para inserir um novo *laptop*. Por exemplo, se os *laptops* possuírem, respectivamente:

IP “192.168.1.22” e local “sala 236”;

IP “192.168.1.24” e local “sala 230”;

IP “192.168.1.28” e local “biblioteca”;

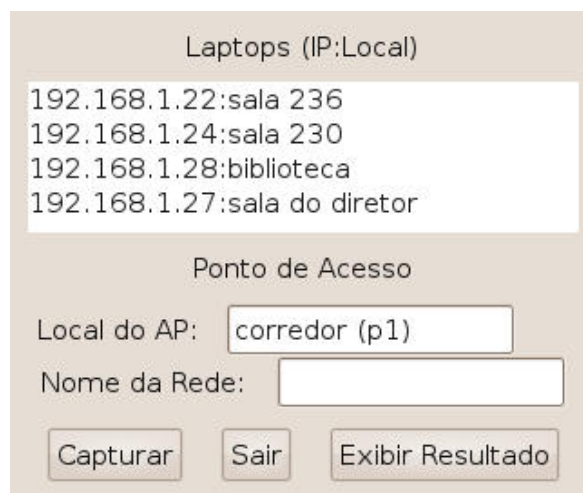
IP “192.168.1.27” e local “sala do diretor”,

O valor deverá ser inserido como mostra a Figura 72.

The image shows the same window as Figure 71, but the "Laptops (IP:Local)" text area is now filled with four lines of text, each representing a laptop's IP and location separated by a colon. The text is: "192.168.1.22:sala 236", "192.168.1.24:sala 230", "192.168.1.28:biblioteca", and "192.168.1.27:sala do diretor". The rest of the interface, including the "Ponto de Acesso" section and the buttons, remains the same.

Figura 72. Preenchimento do campo “*Laptops* (IP:Local)”

Para o caso da instalação *indoor*, no campo “Local do AP”, deve ser inserida a localização do AP. Por exemplo, se o AP estiver localizado no “primeiro ponto do corredor”, pode-se inserir o valor “corredor (p1)” neste campo, identificando esta posição. A Figura 73 ilustra este exemplo. Para a instalação da rede *outdoor*, o campo “Local do AP” deve ser interpretado como tipo de antena, ou alinhamento da mesma. Por exemplo, se estiver sendo testada a cobertura de uma antena omnidirecional com ganho de 8 dBi, pode-se preencher este campo com o valor “Omni8”. Ou no caso de uma antena direcional, com o alinhamento de 20’ a Oeste: “direcional20W”. É importante notar que este valor será modificado a cada bateria de medições, para cada localização, ou tipo/alinhamento da antena, utilizados.



Laptops (IP:Local)

192.168.1.22:sala 236
192.168.1.24:sala 230
192.168.1.28:biblioteca
192.168.1.27:sala do diretor

Ponto de Acesso

Local do AP:

Nome da Rede:

Figura 73. Preenchimento do campo “Local do AP”

No campo “Nome da Rede” deve ser inserido o nome da rede (SSID) que está sendo utilizada nas medições. Esta é a rede formada pelo AP e pelos *laptops* que estão a ele associados. Por exemplo, se a rede *indoor* se chama “UBNT”, o valor “UBNT” deve ser inserido neste campo. A Figura 74 e a Figura 75 ilustram este exemplo.

Figura 74 - Preenchimento do campo “Nome da Rede” para rede *indoor*

Figura 75 - Preenchimento do campo “Nome da Rede” para rede *outdoor*

Depois de preenchidos os campos, o usuário deve apertar o botão “Capturar” para que o BestPlace dê início às medições. Neste momento a janela do programa ficará escura, como mostra a Figura 76, e o usuário deverá aguardar alguns minutos até que os resultados sejam gerados e a janela volte à cor original.

Figura 76. Tela de captura iniciada

Para visualizar os resultados, o usuário deverá clicar no botão “Exibir Resultado”. Uma janela, como a mostrada na Figura 77, irá surgir no navegador *web* padrão do usuário. Esta janela contém uma tabela com as seguintes informações:

- Primeira linha da tabela – informa a localização do AP ou tipo/alinhamento da antena. No exemplo, o local do AP é “corredor (p1)”. Esta linha informa também, através de sua cor, se o local é o melhor ou não para se instalar o AP. O local melhor possuirá cor de linha vermelha.
- *Laptops* - informa os números IPs dos *laptops* utilizados nas medições;
- Local - informa o local de cada *laptop* utilizado nas medições;
- *Beacons* - informa o número de *beacons* coletados por cada *laptop* utilizado nas medições.
- Sinal – Informa a potência média coletada por cada *laptop* utilizado nas medições.
- Total – Informa o somatório do número de *beacons* e das potências médias coletados por todos os *laptops* utilizados nas medições. É através desses números que o programa sugerirá o melhor ponto de instalação do ponto de acesso. A versão atual do *BestPlace* está usando o número de beacons capturados para a escolha do melhor local. O nível do sinal recebido (RSSI) serve apenas como medida auxiliar para o operador do *software*.

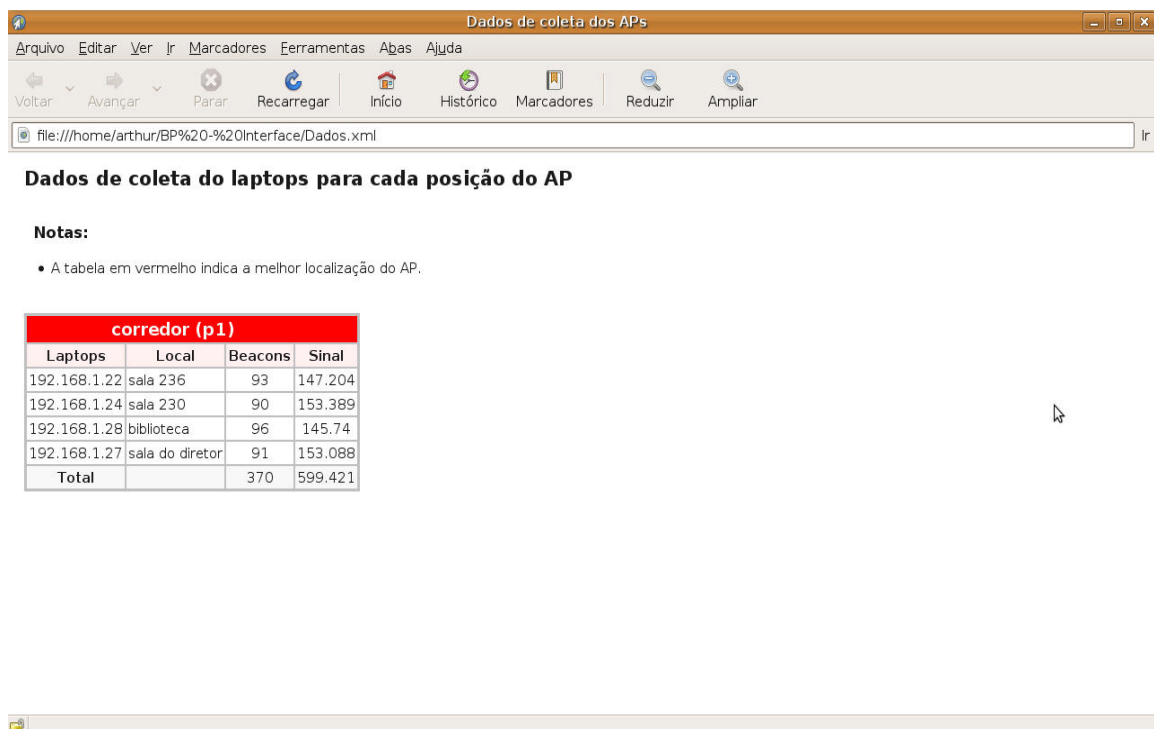


Figura 77. Janela de resultados do ponto “corredor (p1)”

Depois de finalizada a bateria de medições, o usuário deverá trocar a localização do AP, ou o tipo/alinhamento da antena. A janela do programa permanecerá aberta com os dados escritos anteriormente e os valores contidos nos campos “Dados dos *Laptops* (IP:Local)” e “Nome da rede” poderão ser reaproveitados. No entanto, o campo “Local do AP” deverá ser preenchido com o novo valor. Como exemplifica a Figura 78, o AP agora estará localizado no segundo ponto do corredor, identificado pelo usuário por “corredor (p2)”.

A imagem mostra uma interface de usuário com o seguinte conteúdo:

- Um cabeçalho "Laptops (IP:Local)" seguido por uma lista de quatro itens: "192.168.1.22:sala 236", "192.168.1.24:sala 230", "192.168.1.28:biblioteca" e "192.168.1.27:sala do diretor".
- Um seção intitulada "Ponto de Acesso" contendo dois campos de entrada: "Local do AP:" com o valor "corredor (p2)" e "Nome da Rede:" com o valor "UBNT".
- Três botões na base: "Capturar", "Sair" e "Exibir Resultado".

Figura 78. Preenchimento do campo “Local do AP” com a nova localização do AP

Feita esta modificação, o usuário deverá apertar novamente o botão “Capturar” para iniciar a nova bateria de medições. Após o tempo de execução das medições, quando a janela voltar à cor clara, o usuário terá a janela do navegador *web* atualizada com os novos resultados. Caso a janela tenha sido fechada anteriormente, ela pode ser reaberta clicando no botão “Exibir resultado”. A Figura 79 mostra a apresentação dos resultados após duas baterias de testes (dois locais de instalação do AP). Nesta figura, pode-se notar que existem duas tabelas, uma com o resultado obtido no ponto anterior e outra com o resultado do ponto atual. Pode-se notar também, através da cor vermelha na primeira linha da tabela, que o ponto “corredor (p2)”, foi escolhido pelo programa como o melhor ponto, dentre os dois testados, para se instalar o AP.

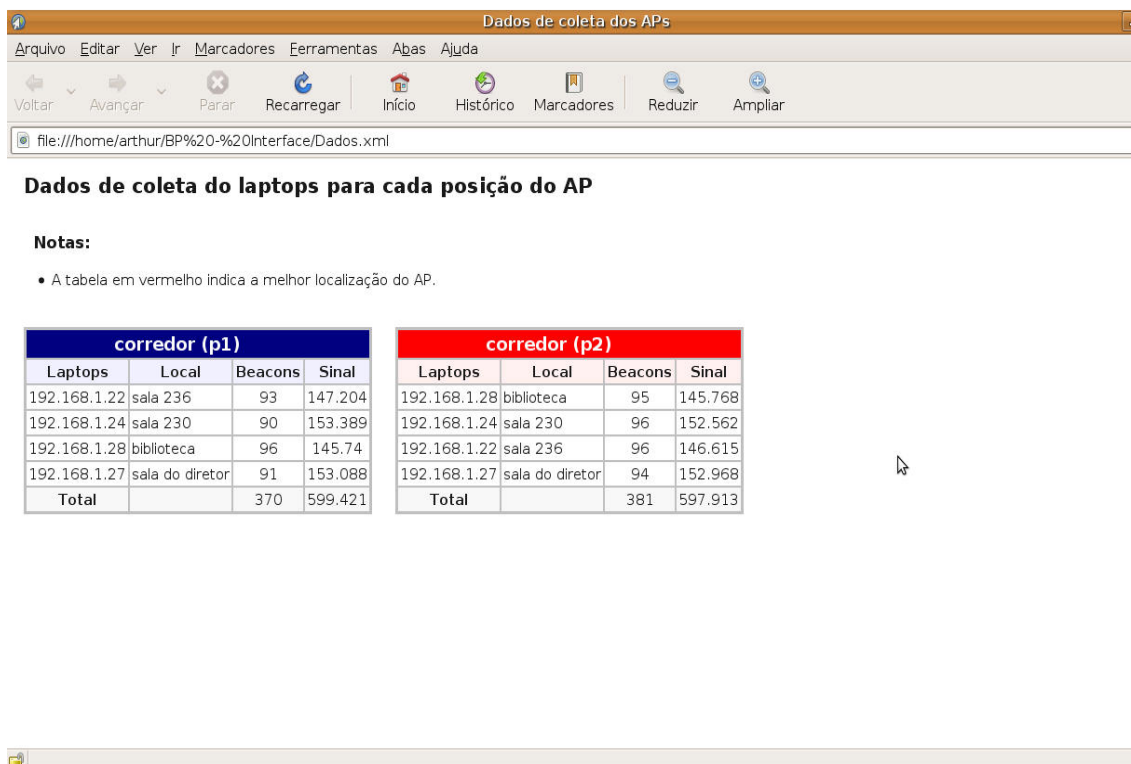


Figura 79. Janela de resultados dos pontos “corredor (p1)” e “corredor (p2)”

O processo descrito nos parágrafos anteriores deverá ser repetido até que se esgotem os possíveis locais de instalação do AP. Uma alternativa interessante é realizar três testes por ponto de instalação do AP, utilizando um canal não interferente em cada bateria. Esse método auxiliará também na escolha do melhor canal para operação da rede, ou seja, o canal menos interferente.

O botão “Sair” deverá ser apertado quando o usuário desejar finalizar o programa.

O procedimento de instalação da antena para conectividade *outdoor* é análogo. A diferença é que, ao invés de se escolher diversos pontos para instalação do AP, deve-se escolher entre diversos tipos de antenas ou alinhamento variados para a mesma, e realizar medições para cada escolha feita. Ao final do experimento, a melhor configuração de antena/alinhamento será escolhida e mostrada, através do *browser*, para o usuário.

9.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O BP

A escolha de um local adequado para instalação do ponto de acesso, e o tipo de antena adequada, são fatores principais em um projeto de cobertura de redes sem fio *indoor* e *outdoor*, respectivamente. Uma escolha equivocada desses parâmetros pode resultar em uma experiência de conectividade ruim por parte dos usuários, ou até mesmo, deixar áreas de interesse descobertas (sem acesso a rede). O *software* BP, ao auxiliar a instalação dos pontos de acesso e antenas nas escolas, ajuda a cumprir com um dos objetivos do projeto RUCA 2: A adequação da infraestrutura das escolas para o recebimento dos *laptops* educacionais.

O BP tem interface gráfica amigável, facilitando seu uso. Além disso, por se tratar de uma ferramenta de código aberto, seu aprimoramento futuro pode ser realizado por outros desenvolvedores a fim de readaptá-lo às necessidades de cada cenário.

Outra grande vantagem dessa ferramenta é que ela não exige nenhum equipamento específico para realizar as medições de cobertura (caros), e sim os próprios equipamentos que as escolas já terão em mãos: ponto de acesso e *laptops* com placa de redes sem fio.

Para validação da metodologia utilizada pelo *software*, isto é, verificar se a escolha do ponto de instalação do ponto de acesso foi feita da maneira correta, foram realizados testes [53] de desempenho entre os *laptops* clientes e o servidor. A ferramenta foi considerada funcional, já que os resultados mostraram que a posição em que os clientes capturaram maior quantidade de *beacons* tratava-se também do local que resultou no maior *throughput* e menor latência e perda.

10 TRABALHOS FUTUROS

Uma questão que demanda maior atenção, e deve ser pesquisada, nas próximas etapas do projeto RUCA diz respeito às ações que devem ser feitas após a distribuição dos *laptops* e instalação da infraestrutura de TIC (conexão ao provedor, servidor da escola e rede sem fio).

Sem um planejamento pós-instalação, a manutenção e gerenciamento do sistema se tornam mais difíceis e a disponibilidade dos serviços pode ser seriamente comprometida. No Projeto Pro-Info [58] (responsável pela criação de laboratórios de informática nas escolas), por exemplo, é feito o monitoramento da disponibilidade das máquinas e dos recursos computacionais consumidos por elas, mas os dados são utilizados apenas para se obter uma visão geral da atividade dos laboratórios. Na ocorrência de problemas nas máquinas ou na rede, o reparo é feito por centros locais de apoio, e pode levar várias semanas para todo o processo de: a escola alertar sobre o problema; a falha ser diagnosticada *in loco*; e, finalmente, ter o problema resolvido.

Tal experiência mostra que não só o monitoramento, mas também o gerenciamento centralizados e integrados são vitais para o sucesso de um projeto de instalação de infraestrutura de TIC desta escala, e também do UCA.

Existe uma série de serviços, como o *backup* dos servidores das escolas, o monitoramento das redes sem fio, o monitoramento do SLA (qualidade) dos enlaces banda larga com as escolas, a detecção de falhas de *software* e *hardware*, e assim por diante, que devem ser feitos remotamente e preferencialmente de forma automática. O artigo [12] sugere o uso do *framework* GISELE (Gerenciamento de Infraestrutura e Serviços em Larga Escala), baseado na plataforma PlanetLab, para auxiliar esta tarefa, mas o trabalho ainda precisa ser concluído.

No GISELE, cada serviço instalado no servidor da escola rodaria em uma máquina virtual própria; estas máquinas podem ser ligadas e desligadas remotamente, de um

controlador central, sem que seja necessário mexer no servidor físico. Isto facilita a manutenção e atualização de serviços, inclusive permitindo a coexistência de diferentes versões do mesmo serviço simultaneamente. Além das questões relacionadas a monitoramento e gerenciamento, o GISELE também deve prever uma forma eficiente para distribuição de conteúdo, técnicas para a otimização do enlace externo e mecanismos de segurança e proteção dos dados para o servidor da escola.

Deseja-se também, futuramente, desenvolver uma solução de *Thin APs* em *software* livre. O uso de *Thin APs* facilitaria o gerenciamento da rede sem fio, já que toda a configuração é feita a partir de um controlador, que poderia ser uma instância de serviço rodando no servidor da escola e acessível pelo GISELE. Como o controlador mantém uma comunicação direta com todos os APs da rede, é possível também colher de forma centralizada dados de monitoramento da rede sem fio como: estatística das taxas de transmissão utilizadas, estatística de tráfego por AP e por usuário, interferência entre APs, etc. Essa solução também possibilitaria o uso de uma gama de técnicas que aumentam a eficiência da rede sem fio, como: controle de potência e balanceamento de carga. O desenvolvimento de uma solução em *software* livre resultaria em uma economia de custos, pois as soluções proprietárias são demasiadamente caras.

O RUCA 3 optou pela utilização de *Thin APs* e controladores de rede sem fio em todas as escolas do projeto piloto. Criou-se, então, uma ótima plataforma de testes que, com o auxílio do *software* proprietário da Motorola, RFMS (*RF Management System*), será usada nos próximos meses para colher informações de monitoramento de todas as redes sem fio instaladas. O *software* permitirá também modificar parâmetros de configuração da rede como:

- RTS/CTS: Habilitar e Desabilitar;
- Configurações de Canal: Habilitar e desabilitar seleção automática de canal nos APs, configurar canal manualmente;
- Configurações de Potência: Habilitar e desabilitar o controle automático de potência dos APs, configurar potência manualmente;
- Configurações de Taxa de transmissão: Habilitar e desabilitar delimitação de taxa básica de transmissão.

Este trabalho possibilitará o mapeamento da melhor combinação de parâmetros de configurações de rede dos APs para cada tipo de escola, fazendo uma correlação entre os resultados obtidos e a quantidade de APs e alunos por escola, disposição das salas e comportamento do usuário.

No entanto, para aperfeiçoar ainda mais a rede sem fio das escolas é necessário trabalhar também nas configurações dos *laptops*. O melhor ajuste de parâmetros de potência e taxa de transmissão depende da densidade da rede e distância entre o *laptop* e o AP. Em escolas com muitos alunos por sala, por exemplo, pode ser benéfico para a rede, como um todo, que os *laptops*, assim como os APs, utilizem potência mais baixa e taxa de transmissão fixada em um valor alto. Já ambientes de rede mais esparsa - como um colégio com poucos alunos distribuídos por uma área maior do que o espaço de uma sala - pode demandar a utilização de potência um pouco mais alta. E mais alta ainda deve ser ajustada a potência em um cenário de cobertura *outdoor*. Seria interessante que o *laptop* tivesse a inteligência de se adaptar ao seu meio, configurando os parâmetros do seu *driver* de rede sem fio da melhor forma possível para aquele ambiente em que ele se encontra no momento. Também faria parte do escopo deste trabalho, a adaptação dos parâmetros do protocolo de encaminhamento da rede *mesh* dos *laptops*. Foi verificado que o protocolo gerava uma quantidade excessiva, para uma rede densa, de quadros de gerenciamento. O intervalo de envio destes quadros, assim como o próprio protocolo, poderia se adaptar em função da densidade da rede.

11 CONCLUSÕES

É de conhecimento geral que os países em desenvolvimento necessitam de uma revolução na educação, e a inserção de tecnologia nas escolas e a inclusão digital podem ser os meios mais rápidos para tal. Entretanto, em um país tão grande como o Brasil, a adaptação das escolas para receber os *laptops* pode demandar muito tempo e recursos. A conectividade é um ponto crucial no projeto UCA, pois ela aumentaria a interação entre alunos e professores, e possibilitaria o acesso à Internet e à sua enorme gama de informações.

Para prover acesso à rede, de qualidade, dentro (conectividade *indoor*) e fora (conectividade *outdoor*) da escola, é importante satisfazer os requisitos de capacidade e cobertura. O primeiro requisito deve delinear o início do planejamento de conectividade, pois determina o número mínimo de pontos de acessos que devem ser usados no projeto.

Na etapa seguinte, deve-se planejar como os equipamentos devem ser instalados, de forma a maximizar a área de cobertura e, ao mesmo tempo, oferecer níveis altos de sinal de rádio nos lugares de interesse – locais onde os estudantes ou professores irão utilizar os *laptops*.

A escolha de um local adequado para instalação do ponto de acesso, e o tipo de antena adequada, são fatores principais em um projeto de cobertura de redes sem fio *indoor* e *outdoor*, respectivamente. Uma escolha equivocada desses parâmetros pode resultar em uma experiência de conectividade ruim por parte dos usuários. O *software* BestPlace pode ajudar tal tarefa.

O BestPlace é uma ferramenta com código aberto, interface amigável, que realiza uma forma simplificada, mas eficiente, de *site survey*. O *software* auxilia pessoas sem conhecimento técnico em redes, como professores, funcionários das escolas ou colaboradores, a realizar a instalação de um ponto de acesso, dentro ou fora da escola, utilizando, para isso, apenas equipamentos já presentes na escola. No entanto, o grupo do projeto RUCA 2 acredita

que a execução ideal de um projeto de redes sem fio deve ser feita, preferencialmente, por profissionais da área. Ainda assim, o provimento desse *software* possibilita que um número maior de empresas possa executar a instalação dos projetos e, também, pode auxiliar esses profissionais para que a instalação da rede sem fio nas escolas seja feita de forma mais padronizada e rápida em todas as escolas do País.

Deve-se também planejar os canais de operação dos APs para minimizar a interferência entre as células da escola. Apesar de não ser aplicável atualmente ao Projeto UCA, este trabalho aconselha para escolas grandes a utilização da emenda “a” ou “n” do IEEE 802.11, pois estes permitem o uso de um número maior de canais ortogonais, sendo que o último ainda fornece uma banda superior.

Para conectar os pontos de acesso à Internet, diversas tecnologias de camada de enlace podem ser usadas: PLC, Ethernet, HomePNA e WDS. Para escolher a tecnologia que será usada, deve-se verificar a infraestrutura existente na escola. Sempre que já houver uma rede Ethernet instalada, ela deve ser usada, por ser a mais estável, e por oferecer maiores velocidades. PLC e HomePNA são alternativas que utilizam a rede elétrica e telefônica, respectivamente, como canais de conectividade. Entre as duas, PLC é mais vantajosa por conta do custo e capilaridade da rede elétrica dentro da escola. A tecnologia de WDS não é aconselhada, pois prejudicaria a já congestionada rede sem fio da escola.

Durante a execução do projeto RUCA 3, verificou-se a situação precária da rede elétrica da maioria das escolas, tornando arriscada a colocação de equipamentos eletrônicos sensíveis como APs, *switches* e controladores de rede sem fio nestes ambientes. Para evitar que toda a rede elétrica das escolas fosse reformada, optou-se pela solução de PoE. Tal solução, além de dispensar a necessidade de um ponto elétrico próximo de cada AP, centraliza a alimentação de todos os equipamentos, fazendo necessária a adequação elétrica apenas neste ponto central. A utilização de PoE pressupõe a escolha da tecnologia Ethernet e deverá ser uma tendência nas implantações de redes nas escolas.

Este trabalho também apresentou algumas tecnologias alternativas que podem ser usadas para aumento da área de cobertura do ponto de acesso. Para redes *indoor*, verificou-se que cabos irradiantes e composição de antenas são capazes de expandir, e de forma homogênea, a cobertura de rede sem fio, sem adicionar novos pontos de acesso. No entanto, estas tecnologias requerem um projeto de engenharia, o que as tornam mais dispendiosas em preço e tempo de instalação. Então, é interessante enxergá-las como uma alternativa aos casos onde a propagação do sinal eletromagnético, em uma determinada região, for complicada.

Uma forma barata de estender a área de cobertura externa à escola, para prover acesso às casas e ruas próximas à escola, é através das redes *mesh* formada pelos próprios *laptops* educacionais. Foi demonstrado, aqui, que esta tecnologia, apesar de viável em um ambiente de baixa interferência eletromagnética e razoável concentração de *laptops*, ela possui limitações técnicas que limitam a extensão de cobertura e restringe a banda disponível a cada usuário. A utilização de antenas de alto ganho, instaladas no topo das casas, ou pontos de acesso como repetidores *mesh*, formando uma rede WMN, podem prover maiores coberturas e banda.

Todo o estudo apresentado neste trabalho, junto com BestPlace e o material didático podem servir de auxílio aos funcionários das escolas, para familiarização com a tecnologia, instalação dos equipamentos e realização de pequenos reparos. Caso o governo opte por profissionalizar a execução dos projetos e instalação da rede, de uma forma descentralizada, delegando às esferas de governo estaduais e municipais a tarefa de licitar tais serviços, estes estudos poderão nortear o Governo Federal na elaboração das regras e diretrizes que os editais deverão seguir para que o produto final do projeto UCA seja satisfatório e sem desperdício de recursos.

Concretizando o vislumbrado pelo autor, este trabalho serviu como base para confecção do “Manual de Projeto e Construção de Redes Sem Fio em Ambientes Fechados”, documento utilizado pela RNP na contratação da empresa designada a realizar os projetos e executar a instalação e configuração da rede sem fio nas 300 escolas públicas do projeto piloto, especificando diretrizes técnicas que a contratada deveria seguir nas diferentes etapas da implantação do projeto. O mesmo documento, junto com formulários de vistoria, testes e inspeção e *template* para apresentação de projeto, utilizados durante o RUCA 3, será disponibilizado para o MEC no encerramento do projeto. O Ministério, então, repassará a documentação a todos os estados e municípios interessados em participar do projeto, tendo eles, agora, a responsabilidade de realizar as licitações.

O Governo Federal também criou uma linha de investimento para os estados e municípios que desejarem ingressar no projeto. Diferentemente do sugerido neste trabalho, a liberação das verbas não está mandatoriamente atrelada ao seguimento da documentação. No entanto, a documentação, já pronta, dará agilidade e economia de custo ao processo licitatório, fazendo com que a sua adoção seja uma escolha óbvia.

12 REFERÊNCIAS

- [1] OLPC – One Laptop Per Child,
Disponível em: <http://www.olpc.org/>,
Acesso em: Janeiro/2009
- [2] Draft Amendment: Mesh Networking. Doc.: IEEE P802.11s/D2.06. January 2009
- [3] Magalhães, Luis Claudio Schara, “Termo de Referência do RUCA”, novembro/2006
- [4] New York Times – “Seeing No Progress, Some Schools Drop Laptops”, publicado em 4 de maio de 2007.
- [5] Bonifaz, A., & Zucker, A. “Lessons Learned About Providing Laptops for All Students”. Brookline, MA: Educational Development Center. 2004
- [6] Chen, Y. F., Liu, C. C., Yu, M. H., Chang, S. B., Lu, Y. C., & Chan, T. W. “A study on elementary science classroom learning with wireless response devices — implementing active and experiential learning”. In Proceedings of the 3rd IEEE international workshop on wireless and mobile technologies in education (WMTE 2005) (pp. 96–103). Nov. 28–30, 2005, Tokushima, Japan.
- [7] Verdejo, M. F., C. Celorrio, et al. (2006). "An Educational Networking Infrastructure Supporting Ubiquitous Learning for School Students". ICALT '06: Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies: 174-178.
- [8] Miranda, Leonardo Cunha de; Hornung, Heiko Horst; Romani, Roberto; Baranaukas, M. Cecília; Liesenberg, Hans Kurt Edmund. Estendendo a idéia do Projeto UCA ao desenvolvimento comunitário: reflexão e estratégias.
Disponível em: <http://www.prodepa.gov.br/sbc2008/anais/pdf/arq0026.pdf>.
Acesso em: junho de 2009.
- [9] Hourcade, J. P.; Beitier, D.; Cormenzana, F.; Flores, P., “Early OLPC Experiences in a Rural Uruguayan School”. Presented at Alt.CHI. 2008.

- [10] Flores, Pablo; Hourcade, J.P., “One year of experiences with XO laptops in Uruguay”. Livro Interactions, Volume 16, Issue 4 (July + August 2009) The Waste Manifesto, SECTION: The value of culture Pages 52-55, 2009
- [11] Giachino, Martín; Sanguinetti, Marcos; Vidal, Leonardo. “Evaluation of Deployment Alternatives for School Wireless Networks”. In: 6th Latin American Network Operations and Management Symposium, 2009, Punta del Leste.
- [12] Arthur Guerrante, Jairo Duarte, Helga Balbi, Ricardo Carrano, Luis Claudio Schara Magalhães; “RUCA: Research on Challenges in ICT Infrastructure for Large-Scale Deployment of Educational Laptops”. In: 6th Latin American Network Operations and Management Symposium, 2009, Punta del Leste.
- [13] Peterson, L.; Anderson, T.; Culler, D.; and Roscoe, T., “A blueprint for introducing disruptive technology into the Internet”. In Proc. ACM HotNets-I Workshop, Princeton.
- [14] Planet Lab
Disponível em: <http://www.planetlab.org>
Acesso em: janeiro/2009
- [15] Projecto CEIBAL – Portal CEIBAL
Disponível em: <http://www.ceibal.edu.uy/>
Acesso em: março/2009
- [16] IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers – Grupo de trabalho 802.11
Disponível em: <http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html>
Acesso em: Setembro/2008
- [17] Carrano, Ricardo; Ruiz, Raphael; Magalhães, Luis Claudio Schara, “The RUCA Project and Digital Inclusion”, Anais do 5º Simpósio Latino Americano de Operações e Gerenciamento de Redes, 2007.
- [18] Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil – ANATEL
Disponível em: <http://www.anatel.gov.br>
Acesso em: Julho/2008
- [19] D-Link
Disponível em: <http://www.dlinkla.com/>
Acesso em: Julho/2008
- [20] Linksys
Disponível em: <http://www.linksysbycisco.com/LATAM/pt/home>
Acesso em: Julho/2008
- [21] K. Xu, M. Gerla, and S. Bae, “How effective is the IEEE 802.11 RTS/CTS handshake in ad hoc networks”, in Proc. of GLOBECOM '02, 2002.

- [22] Sobrinho, João L., de Haan, Roland, Brázio, José Manuel, “Why RTS-CTS is not your ideal wireless LAN multiple access protocol”, Technical Report. IST, Lisboa, Portugal, March 2005.
- [23] Xu, Kaixin, Gerla, Mario, “Effectiveness of RTS/CTS Handshake in IEEE 802.11 based Ad Hoc Networks”, Technical Report, UCLA, Los Angeles, USA, July 2003 .
- [24] Tsai, Tzu-Chieh, Tu, Chien-Ming, “Improving IEEE 802.11 RTS/CTS Handshake in Wireless Ad Hoc Networks Considering Large Interference Range”, Technical Report, NCU, Chengchi, Taiwan, July 2004.
- [25] K. Ramachandran, H. Kremo, M. Gruteser, P. Spasojevic, and I. Seskar, “Scalability analysis of rate adaptation techniques in congested IEEE 802.11 networks: An orbit testbed comparative study,” in WoWMoM 2007, Jun. 2007, pp. 1–12.
- [26] Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita. Resolução Nº 506 da Anatel.
Disponível em: <http://www.anatel.gov.br>
- [27] Carrano, Ricardo, “Improving reliability and scalability of the XO-Mesh network”. Tese de Mestrado, UFF, 2009.
- [28] L. Hideki, R. Martins, A. Guerrante, R. Carrano, and L. Magalhães, “Evaluating the impact of RTS-CTS in OLPC’s XO’s Mesh Networks,” XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT’07), Recife. Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2007.
- [29] HomePlug – Powerline Alliance
Disponível em: <http://www.homeplug.org/>
Acesso em: Setembro/2008
- [30] OPERA – Open PLC European Research Alliance
Disponível em: <http://www.ist-opera.org/>
Acesso em: Setembro/2008
- [31] IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers – Grupo de trabalho IEEE P1901
Disponível em: <http://grouper.ieee.org/groups/1901/>
Acesso em: Setembro/2008
- [32] Eletrosystem
Disponível em: <http://www.eletrosystem.com>
Acesso em: Setembro/2008
- [33] Devolo
Disponível em: http://www.devolo.com/co_EN_cs/produkte/dlan/dlanwirelessext.html
Acesso em: Setembro/2008

[34] Centro de Estudos sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação
Disponível em: <http://www.cetic.br/tic/2007/indicadores-cgibr-2007.pdf>
Acesso em: Setembro/2008

[35] Netgear
Disponível em: <http://www.netgear.com.br>
Acesso em: Setembro/2008

[36] NLANR/DAST : Iperf 1.7.0 - The TCP/UDP Bandwidth Measurement Tool
Disponível em: <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>

[37] TELECO – Informações em Telecomunicações
Disponível em: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwifi/pagina_3.asp
Acesso em: Setembro/2008

[38] WlanBrasil
Disponível em: www.wlanbrasil.com.br/downloads/rfs/Curso-Solucao-Radiaflex-Indoor-para-Distribuidor-v4.ppt
Acesso em: Setembro/2008

[39] HomePNA
Disponível em: <http://www.homepna.org/en/about/index.asp>
Acesso em: Setembro/2008

[40] IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers – Grupo de trabalho IEEE 802.3
Disponível em: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3-2002.pdf>
Acesso em: Setembro/2008

[41] Power over Ethernet (PoE) – IEEE P802.3af
Disponível em: <http://www.ieee802.org/3/af/>
Acesso: Julho/2008

[42] NS-2 – Network Simulation 2
Disponível em: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
Acesso: Julho/2010

[43] Wimax – IEEE P802.16
Disponível em: <http://www.ieee802.org/16/tgd/>
Acesso: Outubro/2008

[44] Balbi, Helga, “Metologia para instalação de rede Wi-Fi extensa em escolas”, Projeto Final de Graduação em Engenharia de Telecomunicações, 2009.

[45] Guerrante, Arthur, “Teste de Validação do Modelo de Rede da OLPC”, Projeto Final de Graduação em Engenharia de Telecomunicações, 2008.

[46] Wi-Spy

Disponível em: <http://wi-spy.com/>
Acesso em: Julho/2009

[47] Aircap
Disponível em: <http://www.airpcap.eu/>
Acesso em: Janeiro/2009

[48] Ferramenta Ping: RFC 792

[49] Servidor NTP: RFC 1305. Mills, David. Network Time Protocol.

[50] Célio Vinicius Neves de Albuquerque, Débora Christina Muchaluat-Saade, Julius Cesar Barreto Leite, Luiz Claudio Schara Magalhães, “GT-ReMesh: Grupo de Trabalho em Redes Mesh”, *VII Workshop da Rede Nacional de Pesquisa*, Curitiba, PR, Brasil, Ocorrido entre 29/05/2006 e 02/06/2006

[51] Cartilhas – Projeto UCA
Disponível em: <http://esr.rnp.br/leitura/cartilhas-uca>
Acesso em: Junho/2010

[52] Yellow Jacket – BVS
Disponível em: <http://www.bvsystems.com/Products/WLAN/YJ-BAG/YJ-BAG.htm>
Acesso em: agosto/2009

[53] Mercado, William. “Metodologia e *software* de apoio para instalação ótima dos pontos de acesso”. Dissertação de Mestrado, UFF, 2010.

[54] Python-GTK
Disponível em: <http://www.pygtk.org>
Acesso em: Dezembro/2008

[55] Tcpdump
Disponível em: <http://www.tcpdump.org/>
Acesso em: Julho/2009

[56] Tshark
Disponível em: <http://www.wireshark.org/docs/man-pages/tshark.html>
Acesso em: Julho/2009

[57] Wireshark
Disponível em: <http://www.wireshark.org/>
Acesso em: Julho/2009

[58] Pro-Info
Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/>
Acesso em: Junho/2009