



**IMPLANTAÇÃO E GERENCIAMENTO DE UMA
REDE SEM FIO NOS DOMÍNIOS DE UM
CAMPUS UNIVERSITÁRIO**

**LAVRAS - MG
2010**

VICENTE DE LUCA

**IMPLANTAÇÃO E GERENCIAMENTO DE UMA REDE SEM FIO NOS
DOMÍNIOS DE UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador:

Prof. Dr. Luiz Henrique de Andrade Correia

**LAVRAS - MG
2010**

Ao Grande Arquiteto do
Universo em possibilitar
diariamente meu verbo. A meus
pais e minha irmã pela eterna
tolerância, paciência e amor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não seria possível sem a competência e a amizade de muitas pessoas. Agradeço aos professores do departamento de Ciência da Computação pelas experiências proporcionadas, e portas sempre abertas.

A Vicente Euripedes De Luca, engenheiro nato e de ofício, por ser o maior mestre em minha formação profissional e de vida, e colaboração sem vocábulos a formação deste trabalho. A Jane Mary De Luca, por nutrir diariamente meu ágape, e Nicolle De Luca pelo amor, carinho e exemplo diário de determinação e brilhantismo.

Aos meus padrinhos Carlos Ilídio da Silva e Quelma Aparecida Oliveira, pelo imenso suporte e compreensão.

Ao CIN-UFLA pelo suporte que encontrei e pelas boas amizades.

Ao amigo e irmão Pedro Ortale Neto, pela colaboração, debates e parâmetros discutidos.

A todos os irmãos da ARLS. Fraternidade Acadêmica Vale do Rio Grande, oriente de Barretos/SP, pela compreensão da minha ausência nos trabalhos da arte real.

Aos companheiros de jornada da Bon Line Internet em Barretos/SP, Carla, Cairo, Flavio, Marcio, e incluo nessa também o grande amigo Cassiano Serdan.

Ao amigo e professor Dr. Rêmulo Maia Alves, pelo “chute inicial” em minha carreira no acolhedor estado de Minas Gerais.

A meu orientador, mais amigo do que professor, Dr. Luiz Henrique de Andrade Correia, sem o qual este trabalho jamais seria publicado. Ajudou-me a precisar informações, revisar documentos, complementá-los com sugestões, enfim, fazer o que só com dedicação e trabalho se consegue.

Dedico aos colegas e amigos da 2004/2, muitos ainda de convívio diário.

Por fim agradeço a Paola Cavazana pelo amor, companheirismo, paciência e todas as virtudes mais. Imensamente grato a todos.

RESUMO

Este trabalho descreve boas práticas no uso de diversas tecnologias de rede com objetivo de criar uma ampla área de cobertura para acesso móvel a uma rede IP acadêmica em um *campus* universitário. Os benefícios das redes sem fio são realidade diária para usuários de recursos de TI, e pesquisas recentes apontam o setor educacional como o maior responsável pelos investimentos na criação de redes móveis em países de primeiro mundo. Propomos neste trabalho um estudo de caso na Universidade Federal de Lavras para criação de uma rede sem fio, com baixo custo comparado a soluções proprietárias, de forma a prover acesso ubíquo em alta velocidade para notebooks e dispositivos *wi-fi*. Como resultados são mostrados a convergência da rede dentro dos requisitos técnicos e de legislação e normas, as capacidades de monitoramento e gerenciamento desta rede, bem como proposto trabalhos futuros no sentido de ampliar a cobertura móvel e possibilitar novas interconexões.

Palavras-chave: Redes sem fio, wireless, 802.11, Wi-Fi, redes.

ABSTRACT

This paper describes good practices using different network technologies achieving creation of wide area coverage for mobile access to an IP network in an academic campus. The benefits of wireless networks are daily reality for IT resources users, and recent polls shows education sector as the biggest responsible for investments creating mobile networks at developed countries. Our goal in this paper is a case study at Federal University of Lavras for creating a wireless network at low cost compared to proprietary solutions, in order to provide ubiquitous high-speed access for laptops and wi-fi devices. The results are shown as the convergence of network regarding technical requirements, legislation and standards, monitoring and management capacity, and proposing future works to expand mobile coverage and allow new interconnections.

Keywords: Wireless network, wireless, 802.11, Wi-Fi, network.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	OBJETIVOS	4
1.3	MOTIVAÇÃO DO TRABALHO	4
1.3.1	<i>Delineação de requisitos</i>	5
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2	REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1	CONCEITOS BÁSICOS EM RÁDIO COMUNICAÇÃO	7
2.1.1	<i>Redes sem fio versus Redes cabeadas</i>	9
2.1.2	<i>Aplicações das redes sem fio de computadores</i>	11
2.1.3	<i>Histórico e evolução das redes sem fio de computadores</i>	12
2.2	ARQUITETURA LÓGICA DAS REDES SEM FIO NO PADRÃO IEEE 802.11	14
2.3	TOPOLOGIAS PADRÃO IEEE 802.11	15
2.3.1	<i>Redes infra-estruturadas (BSS – Basic Service Set)</i>	15
2.3.2	<i>Redes ad-hoc (IBSS – Independent Basic Service Set)</i>	16
2.3.3	<i>Redes Mesh</i>	17
2.4	O PADRÃO IEEE 802.11 EM SUAS ESPECIFICAÇÕES E CARACTERÍSTICAS	19
2.4.1	<i>Camada Física (Layer 1)</i>	20
2.4.2	<i>Camada de Enlace (Layer 2)</i>	20
2.4.3	<i>Wireless Distribution System (WDS)</i>	23
2.5	PROTOCOLO ETHERNET OVER IP (EOIP)	24
3	METODOLOGIA	27
3.1	ESTUDO DE CASO	27
3.1.1	<i>Conhecendo o ambiente de implantação</i>	27
3.1.2	<i>Definição do escopo inicial</i>	29
3.1.3	<i>Resultados esperados</i>	30

4	IMPLANTAÇÃO DA REDE SEM FIO.....	32
4.1	TOPOLOGIA DE REDE PARA O CAMPUS	32
4.2	ATIVOS DE REDES UTILIZADOS	32
4.2.1	<i>Estação rádio-base (ERB) – hardware.....</i>	<i>33</i>
4.2.2	<i>Elementos transceptores da ERB</i>	<i>35</i>
4.2.3	<i>Software RouterOS®.....</i>	<i>38</i>
4.3	SITE SURVEY	40
4.4	REDE IP UFLA	49
4.5	CONFIGURAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	51
4.5.1	<i>Configuração inicial do Roteador de borda (PC-RouterOS).....</i>	<i>51</i>
4.5.2	<i>Configuração inicial dos Roteadores wireless (RB433AH-RouterOS).....</i>	<i>54</i>
4.5.3	<i>Configuração dos túneis entre os roteadores</i>	<i>56</i>
5	RESULTADOS	59
6	CONCLUSÃO	68
7	TRABALHOS FUTUROS	70
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1 – INVESTIMENTOS POR SETOR EM REDES SEM FIO	2
FIGURA 2-1 – CLASSIFICAÇÃO DAS REDES SEM FIO.....	8
FIGURA 2-2 – BANDA ISM.....	9
FIGURA 2-3 – ARQUITETURA LÓGICA DO 802.11.....	15
FIGURA 2-4 – REDE INFRA-ESTRUTURADA	16
FIGURA 2-5 – REDE <i>ADHOC</i>	17
FIGURA 2-6 – REDES <i>MESH</i>	18
FIGURA 2-7 – QUADRO PADRÃO 802.11	19
FIGURA 2-8 – SINAL BINÁRIO NA CAMADA FÍSICA. FONTE: CISCO NETWORK ACADEMY®	20
FIGURA 2-9 – FORMATO DO QUADRO 802.11 FONTE: CISCO NETWORK ACADEMY®	21
FIGURA 2-10 – INTERSECÇÃO DE REDES COM WDS	24
FIGURA 2-11 - TOPOLOGIA EoIP COM ROUTERBOARDS	25
FIGURA 2-12 - <i>BRIDGE</i> ENTRE DUAS LANS COM EoIP	26
FIGURA 3-1 – VISTA AÉREA DO CAMPUS DA UFLA. FONTE: GOOGLE EARTH	28
FIGURA 3-2 – MAPA UFLA COM EXPECTATIVA DE COBERTURA RSF	31
FIGURA 4-1 – MINI COMPUTADOR ROUTERBOARD RB433AH	34
FIGURA 4-2 – MINIPCI ROUTERBOARD R52H	35
FIGURA 4-3 – ANTERNA HYPERLINK 2417 120º.....	36
FIGURA 4-4 – DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO PARA HYPERLINK 2417 120º	37
FIGURA 4-5 – TELA INICIAL DE CONFIGURAÇÃO DO MIKROTIK ROUTEROS.....	39
FIGURA 4-6 – PONTO CONCENTRADOR REITORIA.....	41
FIGURA 4-7 – PONTO CONCENTRADOR ECOLOGIA	42
FIGURA 4-8 – PONTO CONCENTRADOR DCS.....	43
FIGURA 4-9 – PONTO CONCENTRADOR BIBLIOTECA	44
FIGURA 4-10 – PONTO CONCENTRADOR DEG	45
FIGURA 4-11 – PONTO CONCENTRADOR DMV	46
FIGURA 4-12 – PONTO CONCENTRADOR UEPAN.....	47
FIGURA 4-13 – PONTO CONCENTRADOR DCF.....	48

FIGURA 4-14 - DIAGRAMA DAS REDES LOCAIS NA UFLA	49
FIGURA 4-15 - BARRAMENTO LÓGICO VIA EOIP	50
FIGURA 5-1 – TÚNEIS DOS ROTEADORES	59
FIGURA 5-2 - AUTENTICAÇÃO DA REDE SEM FIO.....	60
FIGURA 5-3 - AUTENTICAÇÃO EM LDAP	61
FIGURA 5-4 – CONSUMO DE BANDA NO PERÍODO DE 07 A 08 DE JUNHO DE 2010.....	61
FIGURA 5-5 - USO DE BANDA SEMANA DO FERIADO <i>CORPUS CHRISTI</i> JUNHO DE 2010	62
FIGURA 5-6 - EQUIPAMENTO MEDIDOR DE SINAL.....	62
FIGURA 5-7 - COBERTURA DA RSF EM FRENTE AO DCC	63
FIGURA 5-8 - GRÁFICO REITORIA.....	64
FIGURA 5-9 - GRÁFICO DCC HALL ENTRADA.....	65
FIGURA 5-10 - GRÁFICO DCC ANFITEATRO	66
FIGURA 5-11 - <i>SITE SURVEY</i> DCC.....	67
FIGURA 7-1 - ROTEADOR <i>WIRELESS</i> EDIMAX 7209	70
FIGURA 7-2 - CABO IRRADIANTE, DISPENSA USO DE ANTENA	70

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TIPOS DE FRAMES PARA TRANSMISSÃO EM REDES SEM FIO	23
--	----

LISTA DE SIGLAS

ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
AP	<i>Access Point</i>
CIN	Centro de Informática
EOIP	<i>Ethernet Over IP</i>
ERB	Estação Rádio Base
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
NIC	<i>Network Interface Controller</i>
P2P	<i>Peer to Peer</i>
RF	Rádio Frequência
UFLA	Universidade Federal de Lavras
WAN	<i>Wide Area Network</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

As redes sem fio são sistemas de transmissão de dados projetados para possibilitar o acesso a uma rede local ou um enlace ponto a ponto - *peer-to-peer* (*P2P*), entre diversos tipos de dispositivos computacionais, independentes de sua localização no espaço. Essas redes utilizam como meio de propagação sinais eletromagnéticos ante a uma infra-estrutura de cabos metálicos ou ópticos como nas redes cabeadas convencionais.

A transmissão de dados por radiofrequência passou as décadas seguintes em desenvolvimento aplicado em áreas diversas como práticas militares, aplicação em satélites de exploração e telegrafia entre agências postais. Nos últimos anos foi regulamentada em diversos países, e a partir de então disponível para uso privado, além dos interesses estatais.

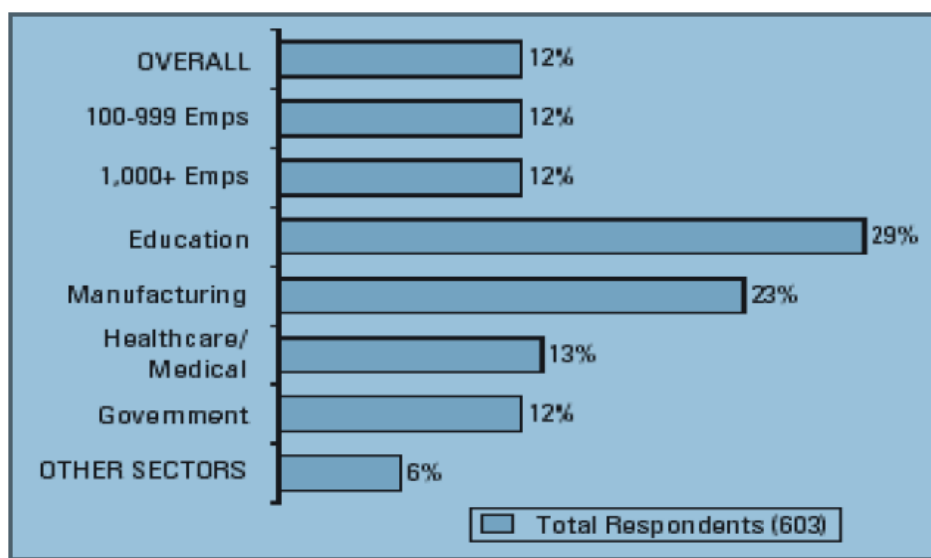
As novas possibilidades que foram criadas através deste avanço tecnológico, somadas a necessidade por uma popularização de meios financeiramente viáveis para se criar redes de comunicação sem fio entre computadores pessoais, resultou em 1997 na aprovação de um padrão por parte do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*). Esse padrão fornece uma regulamentação técnica aos fabricantes sobre como produzir equipamentos provindos de diferentes projetos nos quais a comunicação seja perfeitamente compatível entre si.

A este padrão foi dado o nome de IEEE 802.11, que abriga uma gama enorme de sub-padrões, cada um com sua característica peculiar, por exemplo, os padrões 802.11a, 802.11b, 802.11g, e mais.

Em 2010 as redes sem fio já são realidade na vida cotidiana dos usuários de recursos de tecnologia da informação. Com isso torna-se essencial que as instituições de ensino superior brasileiras invistam na criação de ambientes de

acesso móvel em seus *campi*. A mobilidade irrestrita no acesso à rede acadêmica colabora para o crescimento da produtividade de alunos e mestres no desenvolvimento de suas pesquisas. Lucram ainda mais as instituições que contêm um núcleo computacional, pois a complexidade e a *expertise* necessárias a criação de uma rede completa em todo um *campus* auxilia em possíveis pesquisas e estudos na área da computação ubíqua e pervasiva.

Como forma de sustentar essa necessidade por parte da academia brasileira, apresentamos uma pesquisa recente, encomendada pela gigante Cisco Systems nos Estados Unidos e Canadá, que aponta o setor educacional como maior responsável entre os demais por investimentos nas tecnologias de redes sem fio, como apresentado na Figura 1 (NOPWORLD, 2009).



Base: All Respondents (603)

Figura 1-1 – Investimentos por setor em redes sem fio

Na Figura 1-1 observa-se que em países considerados de primeiro mundo, o setor educacional foi quem mais investiu em tecnologias de redes móveis, reforçando a idéia de que as redes móveis tornam-se cada vez mais necessárias a evolução das escolas, centros técnicos e universidades.

O atual perfil dos usuários de tecnologia da informação requer conectividade em tempo real com a Rede IP Acadêmica ou internet o maior tempo possível durante o deslocamento ao longo de diferentes locais de sua atuação. Seja na sala de aula, na biblioteca, nos laboratórios, e também durante um intervalo na cantina. A principal característica das redes sem fio é permitir essa conexão permanente do usuário com a rede ao longo de seu deslocamento no ambiente de cobertura.

Diversas tecnologias podem ser aliadas de forma a garantir esta conexão ubíqua ao usuário, e dentre as mais importantes atualmente citamos: Wireless LAN e WiMAX para redes de computadores, e também as redes 3G e LTE 4G adotadas por operadoras de telefonia celular (DISCOVERY, 2009).

A Universidade Federal de Lavras tem ciência da necessidade em disponibilizar para a comunidade acadêmica uma infra-estrutura que permita acesso móvel em sua rede de computadores. A carência de uma rede unificada de ampla cobertura ao longo de um campus faz com que alunos e professores implantem suas próprias redes sem fio conectadas a rede local de seus departamentos e salas.

Em geral esta implantação sem critérios resulta em uma rede com sérios riscos de segurança, pois na maioria das vezes a instalação é feita desconsiderando as melhores práticas para o uso da tecnologia, sejam questões de configuração, segurança ou normas técnicas e a legislação em vigência no estado.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal o estudo de caso na criação, e posterior gerenciamento de um ambiente *wireless* instalado no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA). É proposto um estudo com boas práticas para projetar e instalar um ambiente de rede que proporcione mobilidade no acesso à rede IP acadêmica, incluindo internet, dentro dos domínios de um *campus* universitário.

De forma pontual o foco desse trabalho se resume em:

- a) Levantar requisitos para criação de um ambiente *Wi-Fi*
- b) Especificar ativos de rede que atendam aos requisitos do projeto
- c) Possibilitar gerenciamento e monitoração em tempo real
- d) Autenticar os usuarios da rede sem fio nas bases de credenciais já existentes

É deixado um legado para trabalhos futuros com o relato de possíveis laboratórios a serem cobertos, além de apontar sugestões práticas do melhor caminho viável financeiramente e tecnicamente a seguir no intuito de completar uma segunda etapa, onde novos equipamentos apoiados na infra-estrutura já criada atuarão como repetidores no interior de prédios, salas de aula, e demais áreas de sombra.

1.3 Motivação do Trabalho

Devido ao amplo crescimento e ao alto interesse pela criação de ambientes com mobilidade no acesso à rede em instituições públicas e também no mercado privado, torna-se essencial um estudo aprofundado na área ao planejar o impacto de novas instalações, sempre buscando qualidade, confiabilidade e respeito às normas técnicas e legislação da Agência Nacional das Telecomunicações (ANATEL).

Outro fator de grande motivação foi a necessidade de implantar, em caráter emergencial, na UFLA uma rede sem fio de ampla cobertura ao longo de seu *campus*. A finalidade dessa rede é proporcionar mobilidade aos alunos e professores no acesso à Rede acadêmica já existente, disponível através de cabos apenas em locais fixos e específicos.

Podemos somar a esses motivos a criação de uma infra-estrutura que ofereça redundância a rede já existente, e que seja mais tolerante a falhas. No caso de eventuais panes em enlaces cabeados, a rede sem fio é uma alternativa de conexão dos usuários à rede.

1.3.1 Delineação de requisitos

As principais necessidades para atender satisfatoriamente nossa expectativa neste primeiro passo na criação de um ambiente móvel na UFLA são:

- a) A rede sem fio deve ser escalável, possuir alta velocidade na vazão dos dados (*throughput*), suportar os recursos de segurança atuais, bem como ser compatível com Hardwares e Softwares padrões de mercado. Também deve possuir ótima relação custo benefício, e principalmente estar de acordo com as normas técnicas e a legislação vigente em nosso país, fiscalizada pela ANATEL.
- b) Os equipamentos devem possuir a capacidade de sofrer atualizações de *firmwares* e *hardware* de forma a acompanhar o surgimento de novas tecnologias. A rede deverá suportar autenticação baseada em credenciais nome e senha, e para tal deve permitir o uso de diretórios de banco de dados com credencias já existente na instituição.

- c) A disposição dos pontos concentradores de acesso, denominados Estações Rádio Bases (ERB), será em locais onde a instalação elétrica e cabeamento estruturado seja viável. Esses locais devem possuir níveis de ruído dentro dos parâmetros aceitáveis, além da preocupação em aproveitar o relevo e a construção civil de forma a manter a propagação dos sinais de RF o mais restrito possível aos domínios do *campus*.
- d) As estações rádio base estarão conectadas em domínios de *broadcast* distintos entre si, ou seja, segmentados. Ainda assim devem oferecer mobilidade transparente (*Roaming*) ao usuário que transitar entre diferentes estações rádio base, sem a necessidade de intervenção do usuário como renovação de IP, ou mudança na configuração.

Esses requisitos devem ser atendidos de forma a implantar uma rede que ofereça acesso de qualidade aos usuários, e que o custo de implantação seja minimizado.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta o Referencial Teórico, mostrando os principais conceitos utilizados no trabalho, adiante no capítulo 3 é mostrado a Metodologia do trabalho e o estudo de caso aplicado na UFLA. No Capítulo 4 é descrito toda a topologia da rede sem fio, seus ativos e *Softwares*, bem como o passo a passo para configuração desses roteadores. Seguindo para o Capítulo 5 tem-se os resultados deste trabalho com gráficos e telas da nova interface instalada. O Capítulo 6 finaliza apresentando conclusão e trazendo sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceitos básicos em rádio comunicação

Uma rede sem fio se refere a uma rede de computadores sem a necessidade do uso de cabos, sejam telefônicos, coaxiais ou fibras óticas. Torna-se possível a comunicação sem fio por meio de equipamentos e antenas que utilizam radiofrequência (RF), ou radiação eletromagnética, como o infravermelho dos controles remotos, ou transmissão por laser (RAKERS, 2009).

A utilização da tecnologia de transmissão digital sem fio é amplamente difundida em nosso cotidiano, desde celulares até satélites no espaço. A pesquisa foco deste trabalho é aplicada em redes de computadores, servindo como meio de acesso a uma Rede IP e internet com mobilidade entre diversos locais remotos, como pavilhões de aula, biblioteca, laboratórios e diversas áreas ao longo de um campus universitário.

A classificação das redes sem fio é baseada em sua área de abrangência, como mostrado na Figura 2-1. São definidos quatro domínios denominados de: Redes Pessoais de Curta Distância (WPAN – *Wireless Personal Area Network*), Redes Locais (WLAN – *Wireless Local Area Network*, Redes Geograficamente Distribuídas ou de Longa Distância (WWAN – *Wireless Wide Area Network*),), Redes Metropolitanas (WMAN – *Wireless Metropolitan Area Network*) (PAPADOPOULI, 2009).

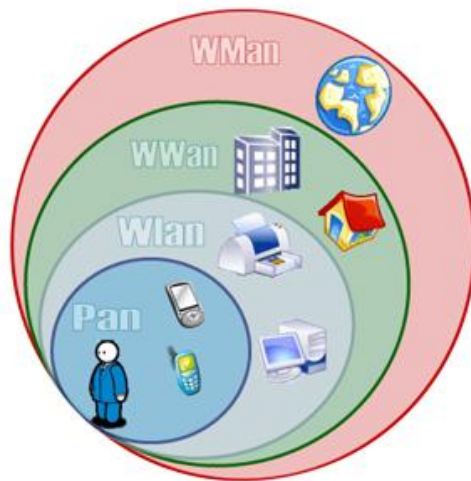


Figura 2-1 – Classificação das Redes sem Fio

Os dispositivos sem fio são construídos de forma a transmitir e receber sinais de Rádio Frequência (RF) em determinadas frequências, que eventualmente são agrupadas em bandas. Cada canal do transceptor possui sua largura de banda (*bandwidth*), que é a quantidade de espaço ocupado no espectro de frequência pelo canal escolhido (GARG, 2009).

Com a popularização da internet no Brasil, o termo “largura de banda” adquiriu conotação métrica de velocidade do link, mas o conceito técnico diferencia-se da prática corriqueira. Sabe-se que quanto maior a largura de banda, mais “fatias” –*slices*– do espectro de frequência são utilizadas ao mesmo tempo durante a transmissão, com isso possibilita maior capacidade no tráfego de informações. Por exemplo, uma linha telefônica analógica, na qual o tráfego é somente voz e ruídos, requerem-se aproximadamente oito kHz de largura de banda. Já um sinal de televisão analógico, mais complexo, requer algo em torno de seis MHz de largura de banda (TANENBAUM, 2003).

A utilização do espectro de rádio frequência é rigorosamente controlada por autoridades regulatórias em todo o mundo, e em certos casos requer prévio licenciamento e homologação do sistema antes de colocá-lo em funcionamento. Este trabalho focará o estudo no agrupamento de frequências chamado ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*). Nesta faixa de espectro existem inúmeras aplicações que não requerem licença das autoridades reguladoras, como exemplo: telefones sem fio, controle remotos, microfones e câmeras sem fio, e principalmente as redes de computadores sem fio.

A Figura 2-2 reproduz o espectro de frequências de 900 a 5.850 MHz, ilustrando também a largura de banda, que é de 26MHz, 83.5MHz e 125MHz para as bandas de 900MHz, 2400MHz e 5800MHz respectivamente.

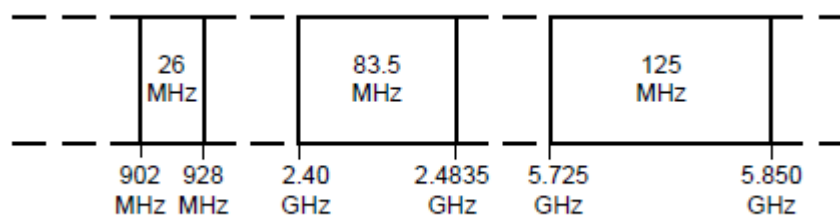


Figura 2-2 – Banda ISM.

A seguir é apresentado um comparativo exaltando as qualidades entre as redes tradicionais cabeadas e as redes sem fio. É importante a noção de que uma tecnologia complementa a outra, e não a substitui por completo, portanto consideramos as redes sem fio como uma extensão das redes cabeadas.

2.1.1 Redes sem fio *versus* Redes cabeadas

As redes locais sem fio foram projetadas para serem similares às redes cabeadas de modo que o usuário final não sofra impacto quando na sua utilização. A diferença mais expressiva é a ausência de uma ligação por fio, pois

utiliza uma onda eletromagnética que se propaga no ar como meio de transmissão (GARG, 2007).

Mesmo com o avanço tecnológico do mercado trazendo ano a ano equipamentos mais velozes e robustos, ainda é incorreto aferir que as de redes sem fio substituem as redes cabeadas por completo. As redes locais cabeadas, denominadas *Local Area Network (LAN)*, possuem vida longa e tem seu papel fundamental em ambientes de TI sendo essencial na interconexão de roteadores e servidores, e principalmente nos pontos de troca de tráfego (PTT) e sistemas autônomos – *Autonomous System (AS)*.

As maiores vantagens das redes sem fio em relação à cabeada são:

- a) A possibilidade de acessar dados disponíveis na rede em tempo real podendo movimentar-se sem perda de conexão, e sem a necessidade de cabos. Esta flexibilidade permite a conexão do usuário com a rede em locais aonde cabos dificilmente chegariam ou seu lançamento seria inviável.
- b) Baixo custo dos ativos de redes sem fio na atualidade, que pode ser discrepante em comparações que visam custo de material necessário para um projeto qualquer. Por exemplo, conexão entre Matriz e Filial em cidades distintas a 80 km. O enlace sem fio se torna extremamente mais barato do que o lançamento e fusões de fibras ópticas para cobrir similar distância.

Ao contrário das redes cabeadas onde os dados trafegam em cabos corretamente acondicionados e protegidos do “mundo externo”, em uma rede sem fio os dados possuem como meio físico o espaço, e por isso estão sujeitos a diversas variáveis cujos resultados podem colaborar de forma negativa para a correta funcionalidade da rede.

Alguns fatores negativos devem ser considerados nas redes sem fio, como: possível co-existência nas proximidades de outras fontes emissoras de RF que utilizam de frequências similares ou harmônicas, a influência negativa na qualidade do sinal através de variação em fatores naturais como umidade e

temperatura do ar, obstáculos que eventualmente possam surgir ao longo da trajetória da onda, etc. Todas essas variáveis colaboram para a atenuação dos sinais eletromagnéticos, até chegar ao ponto que seja necessário ao transmissor o re-envio dos mesmos dados, ou a transmissão de dados não consistentes (GARG, 2007).

Também devemos considerar que usuários mal intencionados possam “escutar” os dados enviados de uma estação para outra, sem que ninguém perceba, pois os dados trafegam livremente no ar. No caso de rede cabeada, o mesmo usuário deveria possuir acesso físico as instalações da infra-estrutura de rede para obter o mesmo êxito.

2.1.2 Aplicações das redes sem fio de computadores

As redes sem fio podem ser aplicadas nas mais diversas áreas, seja para complementar as deficiências da alternativa cabeada, mas também por apresentarem características exclusivas. Recentemente a mobilidade no acesso a Internet tornou-se mundialmente popular nos limites da residência, escritórios, aeroportos, cafés, porém seu uso se estende muito além, dessa forma são apresentados alguns cenários interessantes.

No meio industrial existe uma demanda contínua de troca de informações entre máquinas, computadores e pessoas. Neste cenário torna-se interessante o uso das redes sem fio, por exemplo o gerenciamento e monitoração de tanques de mistura através da rede sem fio por parte da indústria química.

É possível disponibilizar dados de extrema importância em tempo real, como nível da solução, agentes químicos, temperatura, pressão interna, etc. Também sendo possível interferir no processo como abrir/fechar válvulas de difícil acesso manual. Tais possibilidades estendem-se facilmente para usinas de álcool e quem mais se utiliza de maquinários em parques industriais.

Destaca-se também o uso de redes sem fio em prédios tombados pelo patrimônio histórico, onde não é permitida alteração das características locais para passagens de cabos, ou em locais de condições similares.

Para o mercado de pequenas e médias empresas, tornou-se muito útil a interconexão de alta velocidade entre prédios matrizes e filiais. Esta conexão própria do grupo dispensa o alto custo dos contratos praticado pelas operadoras de telecomunicações para a mesma finalidade. No setor público tal cenário mostra-se viável por exemplo nas prefeituras que desejam interligar secretarias, escolas, e postos de saúde.

Na segurança pública, como principal exemplo destaca-se a polícia de Los Angeles (LAPD) que já utiliza uma rede *Mesh* de alto alcance e velocidade. Esta rede permite que policiais consultem bancos de dados de criminosos, utilizem a internet e também toda a rede disponível nas centrais de inteligência, através de sua viatura ou de um dispositivo PDA ou celular.

No âmbito educacional, foco de nosso estudo, o fato de permitir acesso móvel a uma rede acadêmica se mostra imprescindível na atualidade, pois colabora para obter melhorias de rendimento em pesquisas, além de facilitar interconexão entre prédios do *campus* e incentivar uma maior integração da comunidade acadêmica com o uso da Internet.

2.1.3 Histórico e evolução das redes sem fio de computadores

No fim da década de oitenta havia uma grande preocupação por parte do IEEE em definir padrões para orientar diversos fabricantes no desenvolvimento de ativos de redes sem fio compatíveis entre si. Estudos e pesquisas culminaram em diversos padrões estabelecidos até os dias de hoje, que são apresentados a seguir.

O início das pesquisas pelo IEEE para a criação deste padrão de conectividade foi em 1990, e levou cerca de sete anos para o completo

desenvolvimento e homologação do que se chamou de padrão IEEE 802.11. Neste padrão, foram estipuladas duas taxas de transmissão nominal de um e dois Mbps para transmissões infravermelhas ou por sinalização de rádio frequência em 2,4 GHz (2400 MHz).

A fragilidade da especificação 802.11 permitiu que muitos fabricantes começassem a produzir equipamentos incompatíveis, e por isso apenas dois anos após, em 1999, o padrão 802.11 foi revisado e foram definidos dois novos padrões: o IEEE 802.11b e o 802.11a. Para estes padrões foram estabelecidas as frequências de 2,4 e 5,8 GHz, e são capazes de atingir taxas nominais de transmissão de 11 e 54 Mbps respectivamente (IEEE).

Apesar do padrão 802.11b atingir taxas de transmissão menores do que o 802.11a, ele foi mais utilizado. O motivo para tal fato, é que as interfaces 802.11b já estavam em fase adiantada de desenvolvimento e eram mais baratas do que as 802.11a.

Em 2003 foi aprovado o padrão IEEE 802.11g, que trouxe o benefício das taxas de 54 Mbps para o espectro de frequência de 2,4 GHz, e principalmente a compatibilidade retroativa entre dispositivos 802.11b e 802.11g. Para aumentar a taxa de transmissão para 54 Mbps, foram utilizados outros tipos de modulação mais eficientes que no 802.11b.

Em 2004 a especificação do padrão 802.11i definiu procedimentos para autenticação, autorização e criptografia, o que aumentou consideravelmente a segurança. A demanda por qualidade de serviço cresceu e em 2005 foi aprovada a especificação 802.11e, que buscou agregar qualidade de serviço (QoS) às redes IEEE 802.11. A indústria lançou comercialmente nesta época os primeiros pontos de acesso com pré-implementações da especificação IEEE 802.11e.

As primeiras implementações de múltiplas antenas para transmissão e recepção foram feitas em 2006 e foram regulamentadas pelo padrão 802.11n.

Este padrão define o MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) que atinge uma taxa nominal de até 600 Mbps.

Atualmente outras comissões do IEEE pesquisam a padronização de outras especificações como o controle de potência dos rádios, acessibilidade em veículos, serviço de *Roaming*, redes *Mesh*, gerenciamento de redes e outros.

2.2 Arquitetura lógica das redes sem fio no padrão IEEE 802.11

Uma rede sem fio é formada por dispositivos de comunicação que são interligados por meio de sinais eletromagnéticos, assim como ilustrado na Figura 2-3. A arquitetura lógica do protocolo 802.11 reúne quatro componentes protagonistas que apresentamos a seguir:

- a) Estação (*Station*): é o dispositivo computacional que possui uma interface de rede sem fio. Exemplo: computadores pessoais, notebooks, Apple iPad, e alguns telefones celulares “Wi-Fi”, etc.
- b) Meio sem fio (*Wireless medium*): o meio sem fio é utilizado para transferir os pacotes entre as estações. O padrão IEEE 802.11 regulamenta a camada física para infravermelho e rádio frequência, sendo RF a mais difundida e utilizada.
- c) Ponto de Acesso (AP – *Access Point*): é um dispositivo cuja função principal é atuar como ponte transparente (*bridge*)– entre o meio sem fio, e o meio cabeado. Também deve manter um enlace lógico entre os clientes a fim de atuar como ponto concentrador. Nas redes *adhoc* torna-se dispensável o uso de APs, sendo a comunicação estabelecida diretamente entre as estações.
- d) Sistema de Distribuição (DS – *Distribution System*): trata-se da infraestrutura que possibilita a comunicação entre os pontos de acesso, com a possibilidade de formar uma grande área de abrangência. Geralmente uma rede Ethernet tradicional – *Wired Network* -- é utilizada como *backbone* para o DS.

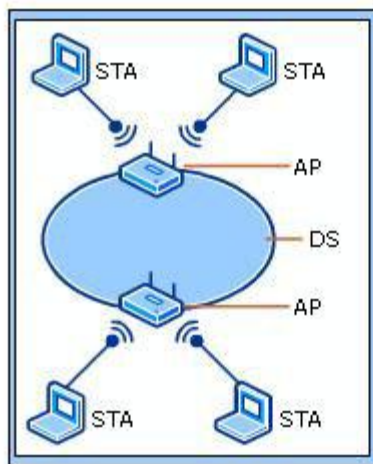


Figura 2-3 – Arquitetura Lógica do 802.11

2.3 Topologias Padrão IEEE 802.11

O padrão IEEE 802.11 define três topologias básicas para o modo de operação das redes sem fio, são elas: infra-estruturada, *adhoc*, e redes em malha (*Mesh*).

2.3.1 Redes infra-estruturadas (BSS – Basic Service Set)

As redes baseadas em uma infra-estrutura de comunicação são semelhantes às redes de comunicação celular, onde um ou mais pontos de acesso (*Access Point*) centralizam os enlaces de comunicação da rede. O AP é responsável pela associação, manutenção e desassociação das estações de trabalho, bem como na entrega dos quadros na rede.

Este ativo de rede deve ser instalado em um local que permita amplo de alcance de seu rádio, possibilitando assim cobrir maior parte da área de comunicação desejada. Em geral é o AP quem interliga a rede sem fio a outras redes Ethernets, e também a Internet, servindo em algumas situações como uma ponte entre redes (*bridge*).

Para que uma estação possa estabelecer comunicação com outra estação remota, todo o processo de negociação e também o fluxo dos dados obrigatoriamente passam pelo AP. A topologia infra estruturada (BSS) é apresentada na Figura 2-4.

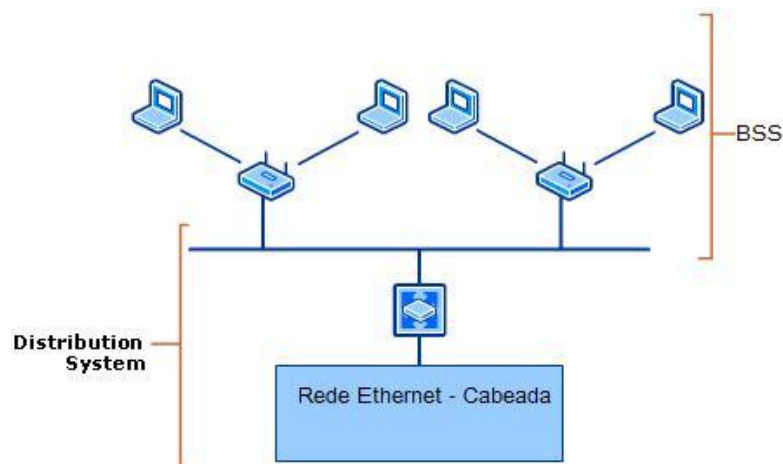


Figura 2-4 – Rede infra-estruturada

Dessa forma toda a comunicação entre os dispositivos finais (notebooks e computadores) passa obrigatoriamente pelo AP.

2.3.2 Redes *ad-hoc* (IBSS – Independent Basic Service Set)

Nas redes *ad-hoc*, ou redes de propósito específicas, não existe a presença de um ponto de acesso central (*Access Point*) para a gerência da comunicação. Nestas redes a comunicação entre as estações de origem e destino são realizadas diretamente de forma bi-lateral, ou através de caminhos entre estações intermediárias até o destino.

Quando o alcance de transmissão de uma estação não é suficiente para atingir diretamente a estação de destino, requer-se a implementação de algoritmos de roteamento entre as estações intermediárias para a correta entrega dos dados.

A comunicação direta entre dispositivos móveis pode formar redes conhecidas por MANET (*Mobile Adhoc Networks*), que são um tipo especial de redes 802.11, que devido a sua especificidade têm sido objeto de muito estudo nos últimos anos.

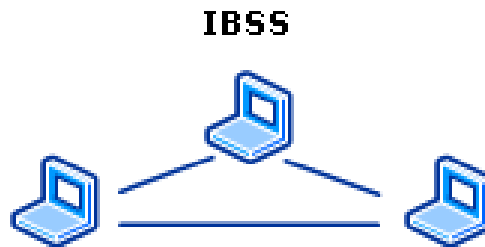


Figura 2-5 – Rede *ad hoc*

Um novo tipo de rede oriunda das redes *ad hoc* tem sido amplamente difundido para interligar diversos pontos de acesso em uma rede estruturada, como apresenta a seção seguinte.

2.3.3 Redes Mesh

As redes *Mesh*, ou redes em malha, misturam as topologias de redes sem fio infra-estruturada e *ad hoc*. O padrão para as redes Mesh foi definido pelo IEEE como sendo o 802.11s, porém até o momento só existe um *draft* em sua versão 2.0. Dessa forma, a realidade é diversas soluções distintas e proprietárias de produtos “Mesh” não compatíveis entre si.

Uma rede Mesh é formada por vários nós que funcionam como roteadores, sendo que cada nó está conectado a um ou mais nós da rede, como mostrado na Figura 2-6. Dessa forma, as mensagens podem ser transmitidas de uma origem a um destino por vários caminhos distintos, o que cria uma rede de topologia dinâmica e altamente tolerante a falhas, pois ao cair um nó, a rede se reconfigura para atingir os mesmos caminhos de forma alternativa.

As redes Mesh possibilitam que pontos de acesso sejam empregados para formar uma *Wireless Metropolitan Area Network* –WMAN. Nestas redes, os pontos de acesso da rede são interligados de maneira *ad hoc*, e as informações são roteadas por múltiplos saltos de forma a encaminhar as mensagens aos seus respectivos destinos.

As redes Mesh podem ser representadas facilmente por grafos, e naturalmente o amplo conhecimento da ciência da computação sobre essas estruturas podem ser aproveitado. Como exemplo, para se obter o menor caminho de um nó da rede a outro qualquer, podemos aplicar um algoritmo para grafos como *Dijkstra*.

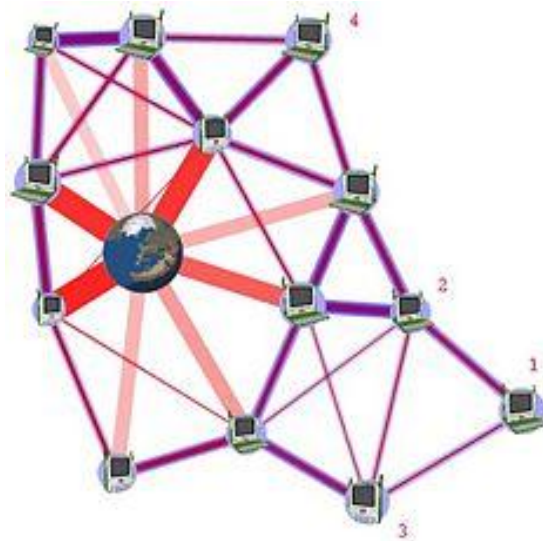


Figura 2-6 – Redes *Mesh*

Atualmente tem sido utilizado pela comunidade de software livre, um *driver* Linux que programa um protocolo de redes *Mesh* baseado no algoritmo *Optimized Link State Routing Protocol* (OLSR).

Na prática os fabricantes de ativos *Mesh* na atualidade aproveitam essa base do OLSR de código livre, e introduzem suas próprias customizações no algoritmo e forma um protocolo *Mesh* proprietário, não compatível com os demais produtos.

O protocolo para redes *Mesh*, ainda proprietário, mais adotado até a publicação deste trabalho é o *Hybrid Wireless Mesh Protocol*, ou simplesmente HWMP. Seu funcionamento consiste em fazer constantes varreduras para descobrir as rotas disponíveis de uma origem até um destino, e as classificam em uma tabela por velocidade e menor índice de perda de pacotes. Esta varredura é feita centenas de vezes por segundo, sendo transparente ao usuário.

As redes *Mesh* possuem a vantagem de serem redes de baixo custo, de fácil implantação e bastantes tolerantes a falhas, pois na ausência de um nó da rede, o tráfego é desviado para o seguinte mais próximo.

2.4 O padrão IEEE 802.11 em suas especificações e características

O padrão IEEE 802.11 para redes sem fio define suas características nas camadas físicas e de enlace segundo o modelo OSI/ISO. Estas especificações estão presentes no hardware e na camada de controle de acesso ao meio de todos os dispositivos 802.11 (CORREIA, 2007). A Figura 2-7 mostra o quadro completo para o padrão 802.11 em função do modelo OSI/ISO.

Camada Física		Camada de Enlace		Camadas superiores	Fecho	
PLCP	Cabeçalho	Cabeçalho MAC	LLC	Dados	CRC	Trailer
Preâmbulo						Fin

Figura 2-7 – Quadro padrão 802.11

2.4.1 Camada Física (*Layer 1*)

A camada física possibilita a negociação das taxas de transmissão para cada sessão (CORREIA, 2007). Na Figura 2-8 é ilustrado uma transmissão binária utilizando cabo, luz e RF. Nosso estudo não objetiva melhorias específicas na camada física, portanto este trabalho se apoiará em camadas superiores.

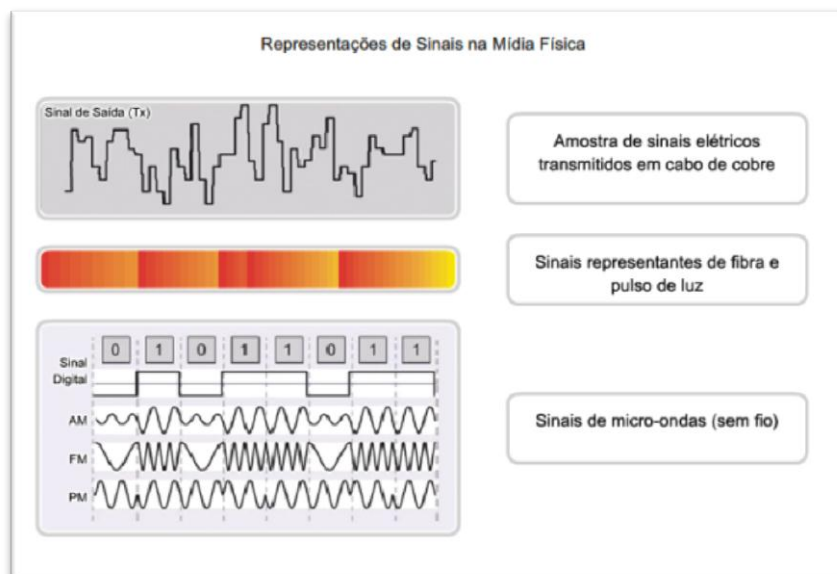


Figura 2-8 – Sinal binário na camada física. Fonte: Cisco Network Academy®

2.4.2 Camada de Enlace (*Layer 2*)

A camada de enlace do padrão 802.11, como nas redes Ethernet, também é subdividida em duas outras subcamadas: a LLC (*Link Logical Control*) e a MAC (*Medium Access Control*).

A subcamada LLC, padronizada como IEEE 802.2 tornou-se comum para todos os padrões de rede especificados, como as redes Ethernet, sem fio e diversas outras. Sua principal função é prover um serviço confiável para a

camada de rede e possibilitar a compatibilidade entre redes diferentes (CORREIA, 2007).

Já na subcamada MAC houve forte customização para atender necessidades das redes sem fio. A descrição dos quadros de dados para o padrão 802.11 tem basicamente o formato genérico mostrado na Figura 2-9.

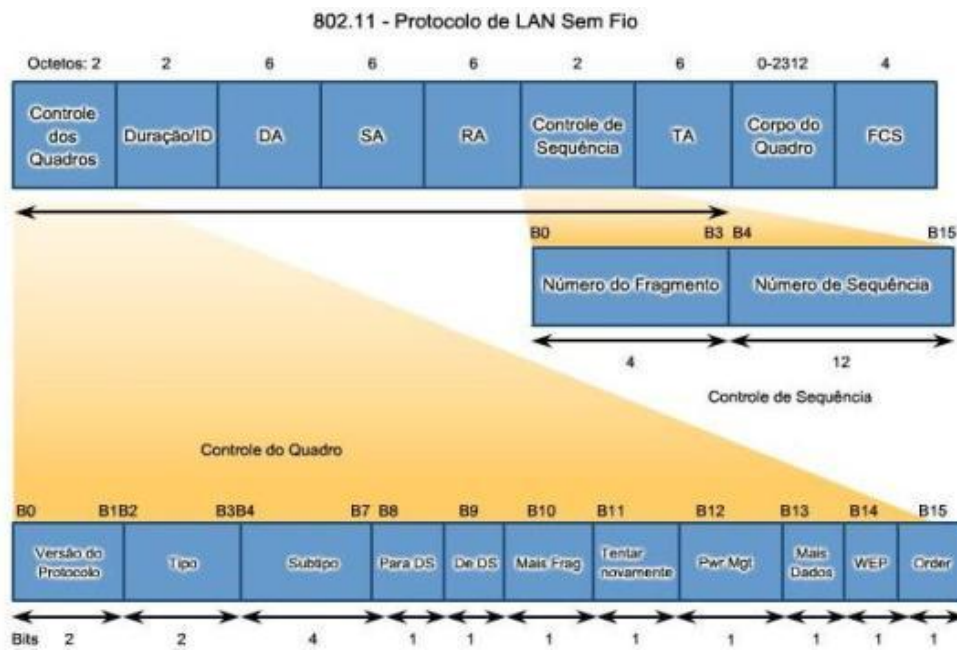


Figura 2-9 – Formato do quadro 802.11 Fonte: Cisco Network Academy®

Os quadros do padrão 802.11 carregam em seus cabeçalhos informações sobre as condições da rede e de sua topologia. Os nomes dos campos do cabeçalho e a sua descrição são apresentados a seguir:

Controle de quadro: os primeiros 2 bytes indicam a versão do protocolo (a, b, g ou outro), o tipo de quadro (controle, dados ou gerenciamento) e seu subtipo, se o quadro foi ou não fragmentado, as informações de privacidade, gerenciamento de energia e ordem (quadros que necessitam de sequencialização exata).

Duração ID: utilizado para a reserva virtual do meio usando RTS/CTS. Este campo indica a duração do período de ocupação do meio de transmissão.

Endereços de 1 a 4: cada um desses campos contém endereços MAC (48bits) assim como nas demais LAN 802.x. O significado destes campos depende dos dois bits do sistema de distribuição (DS). Geralmente utilizam-se apenas três dos quatro campos disponíveis. Sendo os quatro utilizados somente em sistemas distribuídos, como veremos a seguir em *Wireless Distribution System* (WDS).

Controle de seqüência: utilizado para filtrar quadros que possam ser eventualmente duplicados.

Dados: variam de 0 a 2312 bytes para cada quadro.

CRC (Cyclic Redundancy Check): 32 bits do código de detecção de erros comum a todas as LANs 802.x.

2.4.3 Wireless Distribution System (WDS)

O WDS é um mecanismo que habilita o uso do campo de Endereço 4, e desta forma possibilita a implementação de *relay* dos dados entre diferentes Access Points (ENGWER, 2008), ou seja, utilizar o AP como um repetidor.

Originalmente definido na revisão de 1999 do padrão IEEE 802.11, quando ativado permite o *broadcast* de mensagens da camada de enlace por todos os nós conectados. Em outras palavras, seria como se todas as estações conectadas em diferentes *Access Points* estivessem ligadas em apenas um grande HUB.

Os quadros MAC da camada de enlace IEEE 802.11 geralmente necessitam de apenas três dos quatro campos de endereços disponíveis para a transmissão de uma estação A para outra estação B em uma rede Infra-estruturada.

A Tabela 1 contém detalhes de todas as combinações possíveis dos campos necessários para transmissão dos quadros, bem como sua explicação e significado.

Tabela 1 – Tipos de frames para transmissão em redes sem fio

To/From	Descrição
To DS = 0, From DS = 0	Quadro de dados enviado de uma estação diretamente a outra estação (topologia IBSS <i>adhoc</i>).
To DS = 0, From DS = 1	Quadro de dados saindo do <i>Distribution System</i> .
To DS = 1, From DS = 0	Quadro de dados com destino interno ao <i>Distribution System</i> .
To DS = 1, From DS = 1	<i>Wireless Distribution System</i> , quando o quadro de dados esta sendo enviado de um AP para outro AP.

Quando a estação receptora está conectada em um *Access Point* diferente da estação transmissora, é necessário utilizar os endereços MAC de ambos APs envolvidos na conexão para que o AP saiba que deva encaminhar aquele frame para seu vizinho cuidar da entrega. Por exemplo, endereço 3 contém o MAC do *Access Point* transmissor, e endereço 4 contém o MAC do *Access Point* receptor. Esta configuração leva o nome WDS.

Existem muitas razões para utilizar este recurso, por exemplo quando o local a ser coberto é muito extenso para apenas um *Access Point*, ou a necessidade de prover conectividade em locais onde se dispõem de apenas eletricidade, sem conexão cabeada a um *Distribution System (backbone)*. A Figura 2-10 apresenta uma topologia com uso de WDS para criação de único *Distribution System* utilizando dois *Access Points*.

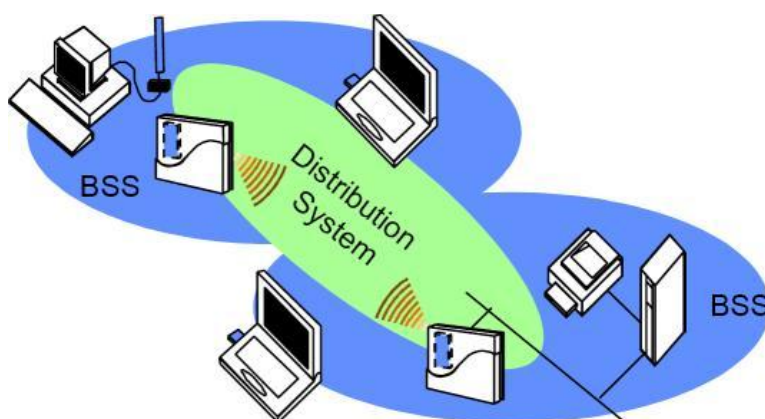


Figura 2-10 – Intersecção de redes com WDS

2.5 Protocolo Ethernet over IP (EoIP)

É um protocolo de tunelamento proprietário do MikroTik RouterOS que cria um túnel *ethernet* entre dois roteadores na camada de rede. A *interface* EoIP atua como uma placa de rede virtual. Combinando as funções do tunelamento

EoIP com *bridge*, todo o tráfego Ethernet (todos protocolos) estará no domínio de *broadcast* local como se houvesse uma conexão física, como um cabo crossover, entre os dois roteadores. Este protocolo permite diversos *schemes* de topologia diferentes, por exemplo:

- a) *Bridge* entre duas LANs via internet
- b) *Bridge* entre duas LANs com túneis criptografados
- c) *Bridge* entre duas LANs sobre redes sem fio 802.11 ‘ad hoc’

Assim como mostrado nas Figuras 2-11 e 2-12, o protocolo EoIP encapsula os frames Ethernet em pacotes GRE (protocolo IP #47) e os envia a outra extremidade do túnel via IP. Embora as duas LANs estejam em locais distintos, e independente da quantidade de *hops* dentro da nuvem IP, ambas as redes LANs são unidas por *bridge* + EoIP, de forma que a o usuário tenha a sensação de apenas uma grande rede local com um domínio de *broadcast* único para ambas. Nosso exemplo demonstra a “união” de duas LANs, porém esta aplicação pode se estender para unir diversas redes ao mesmo tempo.

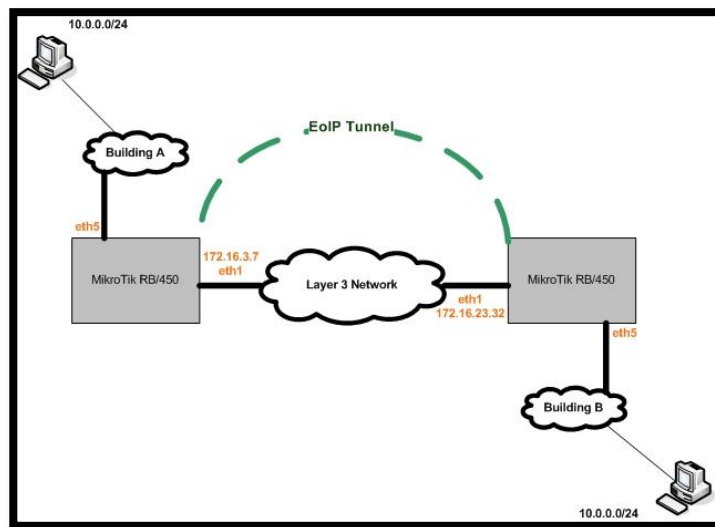


Figura 2-11 - Topologia EoIP com RouterBOARDS

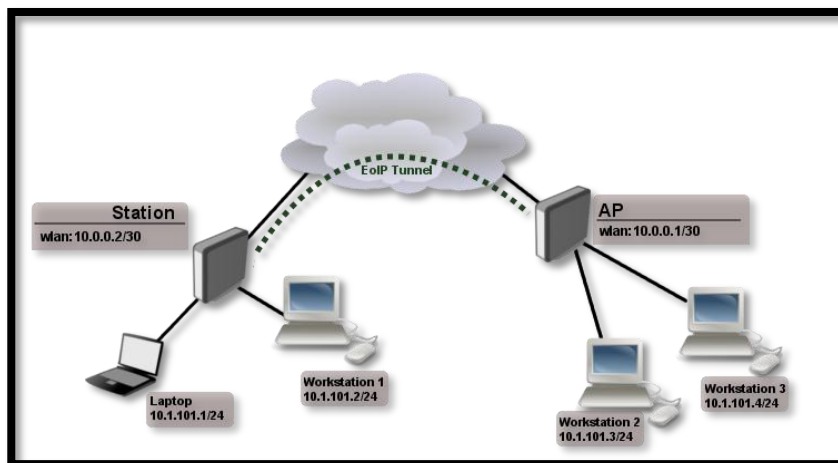


Figura 2-12 - *Bridge* entre duas LANs com EoIP

Em resumo, este protocolo transporta quadros *Ethernet* em pacotes IP permitindo “linkar” duas redes que estejam em regiões geográficas distintas, ou domínios de *broadcast* isolados. Normalmente os pacotes IP viajam em quadros *Ethernet*, entretanto o EoIP inverte o processo acomodando quadros da camada de enlace (MAC/LLC) dentro de pacotes da camada de rede (IP). O *overhead* verificado no uso deste protocolo é de 4 *bytes* somados ao pacote original. Esta grandeza é considerada pequena comparada aos benefício do protocolo, e para efeito de comparação com um caso trivial e bastante difundido, um pacote marcado com *tag* VLAN possui *overhead* de 2 *bytes*, ou seja, metade do EoIP.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foram realizadas pesquisas de caráter exploratório e descritivo, bibliográfica e pesquisa-ação.

A pesquisa bibliográfica serviu como base para a aquisição de conhecimento acerca dos temas envolvidos no projeto. Basicamente envolve consultas a livros de referência, teses científicas e artigos da área de tecnologia de redes de computadores.

Pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo, no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (THIOLLENT, 1997).

3.1 Estudo de caso

Este trabalho apresenta um estudo de caso de implantação de rede sem fio no *campus* da Universidade Federal de Lavras.

3.1.1 Conhecendo o ambiente de implantação

A Universidade Federal de Lavras, situada no município de Lavras – MG possui uma população diária de cerca de 12.500 pessoas, contando com 15 cursos de graduação, 38 cursos de pós-graduação, sendo responsável por cerca de 3.000 publicações anuais (UFLA, 2010).

Seu campus representado no mapa digital da Figura 3-1 possui 600 hectares de área total. Possui 16 departamentos, além de pavilhões de aula, laboratórios, biblioteca, refeitório, anfiteatros, entre outros prédios divididos ao longo de uma área construída de aproximadamente $220.000m^2$.



Figura 3-1 – Vista aérea do campus da UFLA. Fonte: Google Earth

Anteriormente a criação da rede sem fio, a universidade já dispunha de uma ampla rede IP acadêmica, com ramificações através de fibras óticas *gigabit* do Centro de Informática para quase todos os departamentos ao longo da avenida central. Essa rede age como plataforma para aplicações internas da universidade como câmeras IP, serviços e processos internos, e serve também principalmente a população acadêmica fornecendo internet e interconexão entre as pessoas da universidade.

É esperado que após a disponibilização da rede sem fio, os benefícios já existentes tenham um crescimento potencializado em seu uso proporcionado pela facilidade no acesso. São diversos os serviços on-line já disponibilizados pela instituição, como consulta e renovação ao acervo bibliográfico, matrícula em disciplinas obrigatórias e eletivas, e destacamos a crescente e eficaz utilização de ambientes de ensino virtual, especificamente o software *open source* chamado Moodle (MOODLE, 2010).

3.1.2 Definição do escopo inicial

A idealização de um projeto foi o primeiro passo dado rumo a um *campus* ubíquo, capaz de atender os usuários da rede em completa mobilidade, independente de sua localização ou trajetória de deslocamento ao longo do *campus*.

Para minimizar custos foi imprescindível a divisão do projeto em duas ou mais etapas por diversas características como: custo do planejamento em etapas ser mais próximo a real necessidade, permitir um maior estudo da cobertura e áreas de sombra ao longo da execução do projeto, e também a programação da mão de obra especializada que foi necessária para executar e produzir todos os itens imprescindíveis para o sucesso do projeto.

É necessário ressaltar também que após primeira etapa haverá um incentivo na formação da cultura do uso de redes sem fio pela população acadêmica, já que esta é composta não apenas de usuários familiarizados com computação.

Embora existam simulações possíveis que permitem prever a área de cobertura de um transceptor RF, na prática a situação pode se mostrar bastante diferente da simulação. Cada ambiente esta sujeito a intempéries próprias, fontes de radiação de diferentes origens, níveis de ruído distintos e principalmente relevo característico próprio.

A *expertise* do grupo neste trabalho sugere que em rádio frequência aquilo que funciona bem em um ponto A, pode não funcionar da mesma forma em um ponto B. Na prática isto pode resultar em enlaces assimétricos que não atendem a nossa expectativa de qualidade.

Este trabalho, no entanto limita-se a implantação apenas de uma primeira etapa, que consistirá na criação de uma infra-estrutura robusta de rede sem fio, para cobrir áreas externas ao longo das avenidas centrais do *campus*. O

acesso sem fio a partir do interior de salas de aula, anfiteatros, e prédios afins ainda será deficiente, ou inclusive nulo, em alguns pontos internos no momento.

3.1.3 Resultados esperados

Na etapa inicial de aplicação espera-se ampla cobertura externa ao longo de todo o *campus* da UFLA, aliado a integração da malha *wireless* com a base de dados da instituição, de forma a autenticar os usuários através das credencias de email e senha criados no momento da matrícula do aluno ou servidor.

Além disso, esperamos permitir em etapas futuras através desta nova estrutura base a criação de uma “Infovia” de alta velocidade para uso institucional da universidade (*backbone* sem fio de até 600 Mbps), bem como garantir alta velocidade no acesso à rede acadêmica pelos usuários finais (até 4 Mbps por usuário).

Considerando uma distribuição homogênea dos usuários da rede sem fio, projetamos suportar até 500 usuários simultâneos sem queda de qualidade na rede sem fio, e também avançar nos estudos da computação ubíqua e pervasiva.

Na Figura 3-2 é apresentado mapa do *campus* da UFLA com a área de cobertura móvel esperada indicada pelo contorno tracejado.

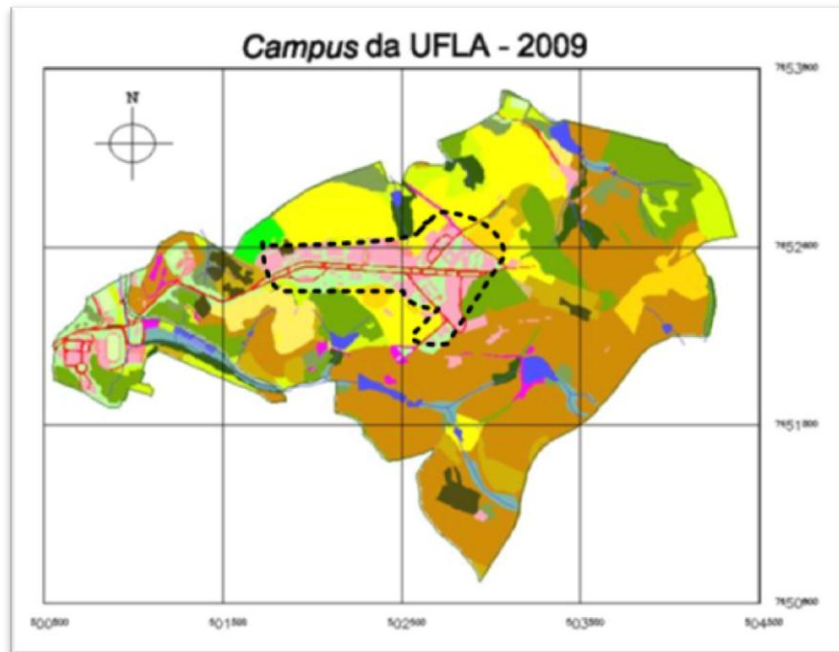


Figura 3-2 – Mapa UFLA com expectativa de cobertura RSF

4 IMPLANTAÇÃO DA REDE SEM FIO

Este capítulo apresenta o estudo de caso em suas diversas fases de levantamento, especificação de *hardwares* e *softwares*, bem como detalhes da solução empregada na criação desta infra-estrutura de dados sem fio. É discutida a topologia adotada para a implantação da rede, os modelos e padrões dos ativos de rede, os tipos de antenas empregados, os softwares de gerenciamento e a localização dos pontos de concentração dos clientes móveis.

4.1 Topologia de rede para o *campus*

Foi profundamente discutida a possibilidades de se utilizar uma topologia Mesh, porém o atraso do IEEE em regulamentar o padrão impossibilita aos diversos fabricantes desenvolverem ativos de rede compatíveis entre si. Desta forma a escolha se deu pela topologia infra-estruturada –(BSS), com múltiplos *Access Points* e diversas antenas instaladas em locais estrategicamente escolhidos conforme os critérios e requisitos outrora definidos.

A escolha dos equipamentos foi influenciada pela possibilidade futura de atualização de *software* a fim de permitir a criação de uma **Infovia**– Caminho de informações– *Mesh* de alta velocidade para uso próprio da universidade.

4.2 Ativos de redes utilizados

A escolha da tecnologia é embasada principalmente no padrão mais adotado pelo mercado de dispositivos portáteis – *notebooks*, *pads*, celulares, e a conclusão é que a infra-estrutura deverá suportar pelo menos equipamentos no padrão 802.11b.

Ainda que o padrão 802.11g já seja realidade e bastante utilizado para uso *indoor*, em nosso caso de uso *outdoor* é recomendável a utilização do padrão 802.11b para que o rádio transmissor consiga maiores potências de transmissão, possibilitando uma maior área de cobertura, em detrimento à velocidade, mas a

taxa nominal de 11 MBits/s do padrão 802.11b mostra-se suficiente na atualidade para o tráfego de dados acadêmicos e de internet.

4.2.1 Estação rádio-base (ERB) – *hardware*

Existem dezenas de fabricantes de ativos de rede do tipo *Access Points*, porém a grande maioria se destina a uso doméstico, ou uso em pequena escala, e não apresentam a robustez ou versatilidade necessárias para concluir empreendimentos de grande porte. Ao buscar equipamentos flexíveis, escaláveis e com poder de processamento elevado, restringimos nosso universo de opções para apenas um conjunto disponível no mercado global, sendo possível a customização do ativo, pois não se encontra sob forma de produtos prontos os equipamentos ideais desejados.

A fabricante RouterBoard® possui uma imensa gama de mini-computadores com processador Atheros otimizado para uso em rede, slots mini-PCI para instalação de interfaces de rede sem fio, portas Ethernet e Gigabit. Traz pré-instalado o sistema operacional MikroTik RouterOS. Essa combinação entre hardware e software propicia um poderoso e avançado roteador com interfaces de rede customizáveis por diferentes frequências, potências de transmissão, e outros parâmetros (ROUTERBOARD, 2010).

O modelo mais adequado as nossas necessidades se mostrou o RouterBoard RB433AH, apresentado na Figura 4-1. Ele atende a todos os padrões IEEE atuais (802.11a/b/g/n), permite a instalação de rádios e antenas externas, sendo homologado pela ANATEL. Além disso, possui três slots miniPCIs sendo possível instalar até três transceptores, um em cada slot. A RB 433AH integra três interfaces Ethernet 10/100 Mbits, processador MIPS Atheros 680MHz, 128MB RAM, slot microSD para armazenamento de arquivos, e suporte a *Power over Ethernet* – PoE IEEE 802.3af.



Figura 4-1 – Mini computador RouterBoard RB433AH

Após a escolha do mini computador, devemos focar nossa atenção na escolha dos elementos transmissores, como cartão mini PCI que abriga o transceptor de radio freqüência, e também do conjunto de antenas que serão conectadas a este rádio para irradiar o sinal de RF.

4.2.2 Elementos transceptores da ERB

Como elemento rádio transmissor foi utilizado o “cartão” RouterBoard mini-PCI R52H, mostrado na Figura 4-2. Ele apresenta uma excelente relação custo e benefício, além de superar os requisitos de potência, compatibilidade, homologação, e outros. Este cartão possui as seguintes características, disponibilizadas pelo fabricante:



Figura 4-2 – miniPCI RouterBoard R52H

- Chip set Atheros AR5414.
- Padrão selecionável (802.11a/b/g).
- Padrões 802.11b/g – Intervalo de frequência 2.192 a 2.507 MHz.
- Padrão 802.11a – Intervalo de frequência 4.920 a 6.100 MHz.
- Conector: uFl.
- Potência de saída: 25dBm ou 320 mW.
- Temperaturas de funcionamento seguro: -50°C a +60°C.
- Suporte aos padrões de segurança: WEP 64/128bit, criptografia TKIP e AES-CCM, WPA, WPA2, 802.1x.

Será utilizado um conjunto de antenas setoriais numa mesma ERB, chamado de *array* de antenas. As antenas escolhidas para compor os *arrays* foram o painel setorial da fabricante americana Hyperlink Tech modelo HG2417P-120, que possui as especificações técnicas definidas pelo fabricante abaixo:



Figura 4-3 – Antena Hyperlink 2417 120°

- Frequência: 2400-2500MHz
- Ganho: 20dBi
- Onda horizontal: 120°
- Onda vertical: 5°
- Impedância: 50 ohms
- Downtilt: 0 – 20° ajustáveis

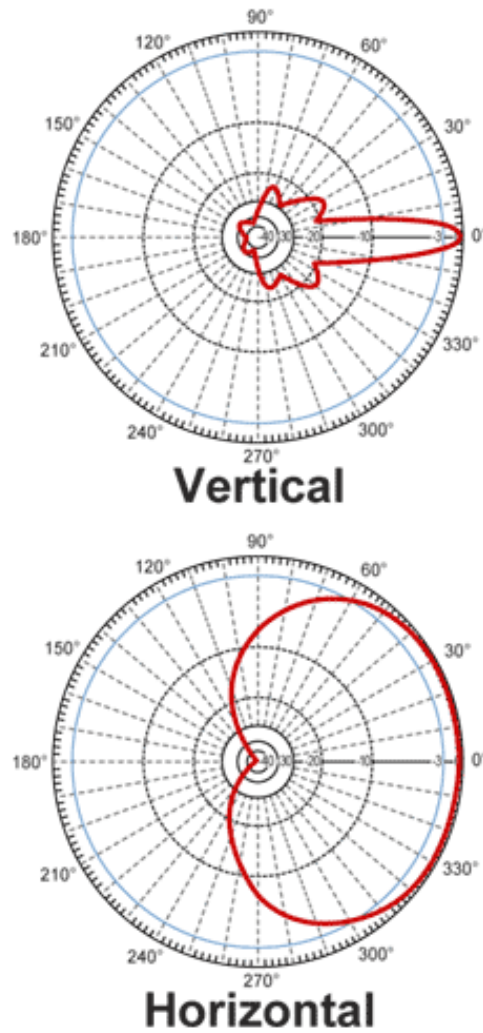


Figura 4-4 – Diagrama de irradiação para Hyperlink 2417 120 °

A escolha na formação desses *arrays* com esse modelo de antena se deu por ela apresentar um diagrama de irradiação pontual, mostrado na Figura 4-4, considerado ideal para a nossa aplicação, além de garantir uma melhor

manutenção dos setores cobertos, por permitir ajuste fino específico por setor a cada 120° horizontais (HYPERLINKTECH, 2010).

4.2.3 Software RouterOS®

Com o conjunto *hardware*, transceptores e antenas definidos, restavam confrontar a capacidade do *software* pré-instalado nos RouterBoards com as necessidades do projeto. O MikroTik RouterOS mostrou desde o início superar as expectativas trazendo a possibilidade de novos horizontes jamais alcançados no caso da escolha de uma solução pronta.

Apresentamos neste trabalho uma síntese sobre esse sistema operacional baseado no kernel 2.6 do Linux. O RouterOS hoje é maduro em sua versão 4.9, é o sistema oficial pré-instalado nos mini-computadores RouterBoards, e que também pode ser instalado em um computador PC (plataforma x86) a fim de transformá-lo em um roteador avançado. Na Figura 4-5 um *screenshot* da interface de configuração deste sistema.

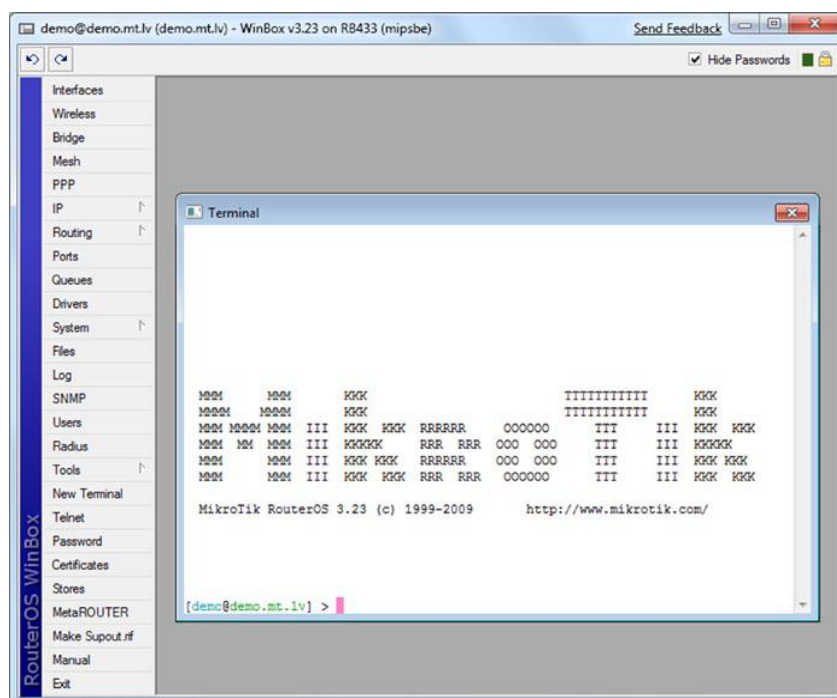


Figura 4-5 – Tela inicial de configuração do MikroTik RouterOS

São os principais recursos do MikroTik RouterOS (MIKROTIK, 2010):

- a) Roteamento estático.
- b) Roteamento dinâmico com suporte aos protocolos RIP, OSPF, BGP e MPLS.
- c) Firewall tasteful layer7 com filtro de pacotes *peer-to-peer*.
- d) Controle de qualidade do serviço (QoS).
- e) Agrupamento de interfaces – *bonding/etherchannel*
- f) WDS e *Virtual AP*
- g) Monitoramento SNMP (v1,v2,v3)
- h) Portal *hot spot* para autenticação via web por nome/senha
- i) Suporte a RADIUS e autenticação 802.1x
- j) Suporte a VPN – ipsec, pptp e outros

Além de ser extremamente pequeno (>50MB) e leve no consumo de recursos, é facilmente atualizável e inclui interface gráfica para configuração e monitoração, bem como acesso via console por telnet/ssh.

Atualmente no mercado nenhum outro dispositivo apresenta tantas funcionalidades e uma relação custo/benefício tão atraente quanto empregar os ativos e softwares RouterBoard e MikroTik.

4.3 *Site survey*

De posse da especificação dos ativos de rede disponíveis para nossa solução, faz-se necessário um trabalho de campo para localizar os melhores locais que abrigarão a instalação destes equipamentos rádios transceptores.

Esses locais deverão ter os seguintes requisitos básicos: ponto de energia elétrica, ponto de conexão com o *backbone* cabeado da rede UFLA, e principalmente possuir linha de visada com o setor alvo da cobertura da rede sem fio.

O primeiro passo após determinar aquele local como ponto de concentração, será visualizar a partir deste ponto os setores alvos de cobertura. Assim torna-se possível determinar a quantidade de cartões de rádio transceptores e antenas necessárias naquele ponto a fim de cobrir toda a área foco deste concentrador.

São mostrados a seguir os pontos escolhidos dentro do *campus*, seguindo os critérios acima descritos. São informados dados pertinentes ao projeto, como a definição exata do local de cada concentrador, a descrição dos ativos e passivos de rede necessários, bem como a expectativa da área de cobertura através de cada local.

Para a cobertura de toda a avenida central da UFLA, foram definidos os pontos de concentração descritos a seguir:

a) **Reitoria**

O ponto concentrador denominado “Reitoria” será composto pelos seguintes equipamentos:

- Um mini computador RouterBoards RB433AH
- Dois cartões de rádio RouterBoards R52H
- Duas antenas tipo painéis setoriais, Hyperlinktech 120° - 2.4GHz 17dBi

A figura 4-6 mostra o mapa digital deste cenário. A expectativa de cobertura sem fio através deste ponto são os usuários da região do setor de ecologia, pavilhão de aulas um, e departamento de biologia (DBI).



Figura 4-6 – Ponto concentrador Reitoria

b) Setor de Ecologia

O ponto concentrador denominado “Ecologia” será composto por:

- Um mini computador RouterBoard RB433AH
- Dois cartões de rádio RouterBoard R52H
- Duas antenas tipo painéis setoriais, Hyperlinktech 120° - 2.4GHz 17dBi

A Figura 4-7 mostra o mapa digital deste cenário. A expectativa de cobertura sem fio através deste ponto são os usuários da região do almoxarifado e da prefeitura do *campus*.



Figura 4-7 – Ponto concentrador Ecologia

c) **Departamento de Ciência de Solos (DCS)**

O ponto concentrador denominado “DCS” será composto por:

- Um mini computador RouterBoard RB433AH
- Três cartões de rádio RouterBoard R52H
- Três antenas tipo painéis setoriais, Hyperlinktech 120° - 2.4GHz 17dBi

A Figura 4-8 mostra o mapa digital deste cenário. A expectativa de cobertura sem fio através deste ponto são os usuários da região do departamento de administração (DAE), departamento de exatas (DEX) e departamento de biologia (DBI).



Figura 4-8 – Ponto concentrador DCS

d) **Biblioteca Central**

O ponto concentrador denominado “Biblioteca” será composto por:

- Um mini computador RouterBoard RB433AH
- Três cartões de rádio RouterBoards R52H
- Três antenas tipo painéis setoriais, Hyperlinktech 120° - 2.4GHz 17dBi

A Figura 4-9 mostra o mapa digital deste cenário. A expectativa de cobertura sem fio através deste ponto são os usuários da região dos pavilhões de aula dois e três, centro de convivência, cantina, e departamento de ciência dos alimentos.



Figura 4-9 – Ponto concentrador Biblioteca

e) **Departamento de Engenharia (DEG)**

O ponto concentrador denominado “DEG” será composto por:

- Um mini computador RouterBoard RB600
- Quatro cartões de rádio RouterBoard R52H
- Quatro antenas tipo painéis setoriais, Hyperlinktech 120° - 2.4GHz 17dBi

A Figura 4-10 mostra o mapa digital deste cenário. A expectativa de cobertura sem fio através deste ponto são os usuários da região do departamento de engenharia, departamento de ciência dos alimentos, e laboratório da engenharia.



Figura 4-10 – Ponto concentrador DEG

f) **Departamento de Medicina Veterinária (DMV)**

O ponto concentrador denominado “DMV” será composto por:

- Um mini computador RouterBoard RB433
- Dois cartões de rádio RouterBoard R52H
- Duas antenas tipo painéis setoriais, Hyperlinktech 120° - 2.4GHz 17dBi

A Figura 4-11 mostra o mapa digital deste cenário. A expectativa de cobertura sem fio através deste ponto são os usuários da região do departamento de medicina veterinária, departamento de ciência dos alimentos, e salão de convenções



Figura 4-11 – Ponto concentrador DMV

g) **UEPAN**

O ponto concentrador denominado “UEPAN” será composto por:

- Um mini computador RouterBoard RB433
- Um cartão de rádio RouterBoard R52H
- Uma antena tipo omni-direcional, Hyperlinktech 360° - 2.4GHz 14dBi

A Figura 4-12 mostra o mapa digital deste cenário. A expectativa de cobertura sem fio através deste ponto são os usuários da região do departamento de sementes, departamento de agricultura e núcleo de estudos em cafeicultura.

Este ponto encontra-se inativo aguardando infra-estrutura de interconexão ao *backbone* UFLA (rede de dados), e a energia elétrica da universidade.



Figura 4-12 – Ponto concentrador UEPAN

h) **Departamento de Ciências Florestais (DCF)**

O ponto concentrador denominado “Floresta” será composto por:

- Um mini computador RouterBoard RB433
- Três cartões de rádio RouterBoard R52H
- Três antenas tipo painéis setoriais, Hyperlinktech 120° - 2.4GHz 17dBi

A Figura 4-13 mostra o mapa digital deste cenário. A expectativa de cobertura sem fio através deste ponto são os usuários da região dos departamentos de agricultura, entomologia, fitopatologia, e laboratório de estudos e projetos em manejo florestal.

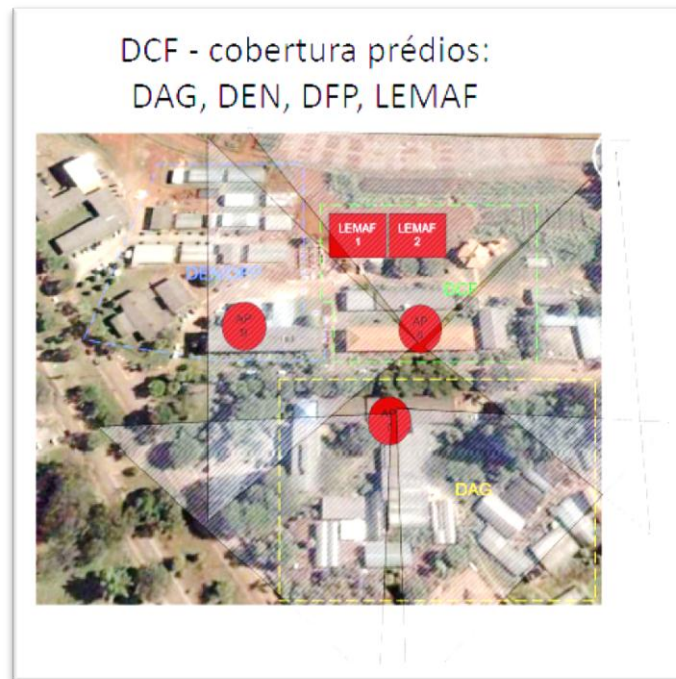


Figura 4-13 – Ponto concentrador DCF

4.4 Rede IP UFLA

A rede IP da UFLA é caracterizada em geral por possuir uma espinha dorsal (*backbone*) em alta velocidade (*gigabit*), onde cada departamento se conecta a este *backbone* através de fibras ópticas e um roteador local, que segmenta e interconecta a rede do departamento (LAN) com a “Rede IP Acadêmica” (WAN) e internet, como mostrado no diagrama da Figura 4-14.

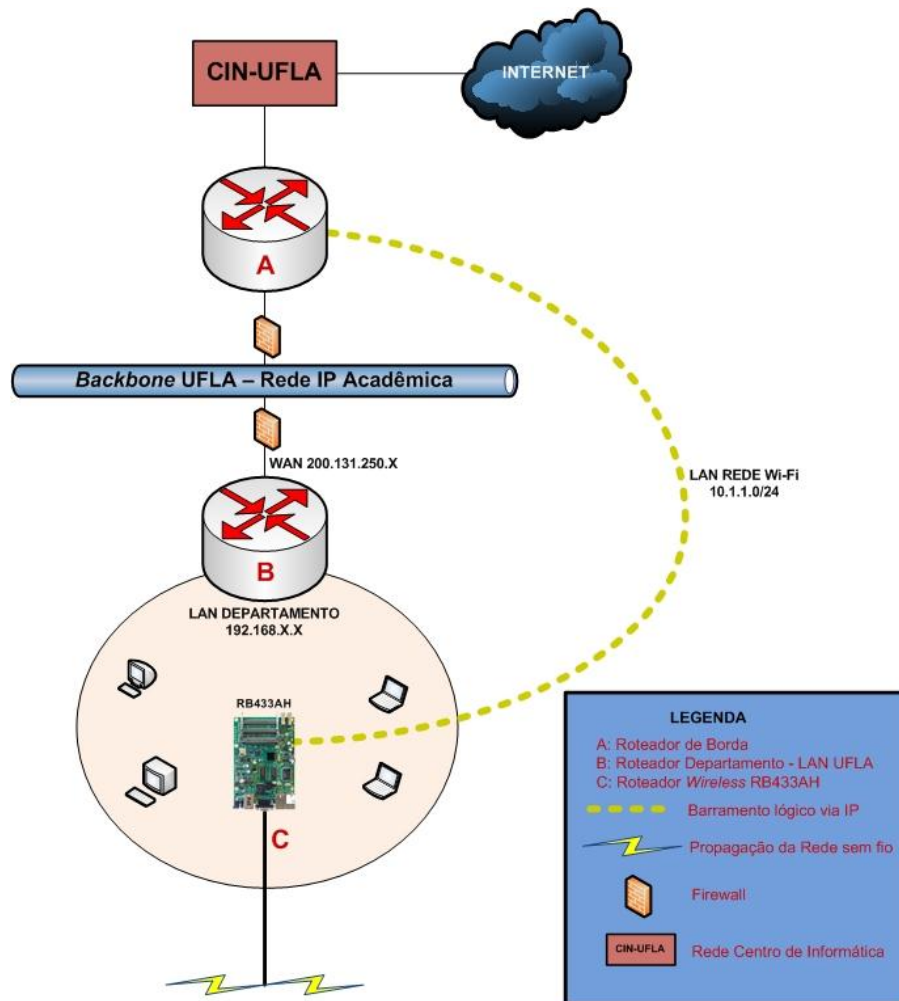


Figura 4-14 - Diagrama das redes locais na UFLA

Na Figura 4-14 é apresentado o diagrama contendo os dispositivos meios e finais na rede IP da UFLA. O roteador *wireless* RB433AH está localizado dentro da rede local (LAN) do departamento, e por isso faz-se necessário a criação de um barramento lógico (EoIP – *Ethernet over IP*) entre os roteadores *wireless* e o roteador de borda para a internet, pois desta forma conseguimos validar o requisito de mobilidade transparente (*Roaming*) entre as diversas estações rádio base. Este barramento lógico, apresentado na Figura 4-15, é formado pela união em *bridge* de túneis EoIP entre todos os roteadores, criado exclusivamente para tráfego da rede sem fio, isolando em outro segmento os dados da rede local do departamento.

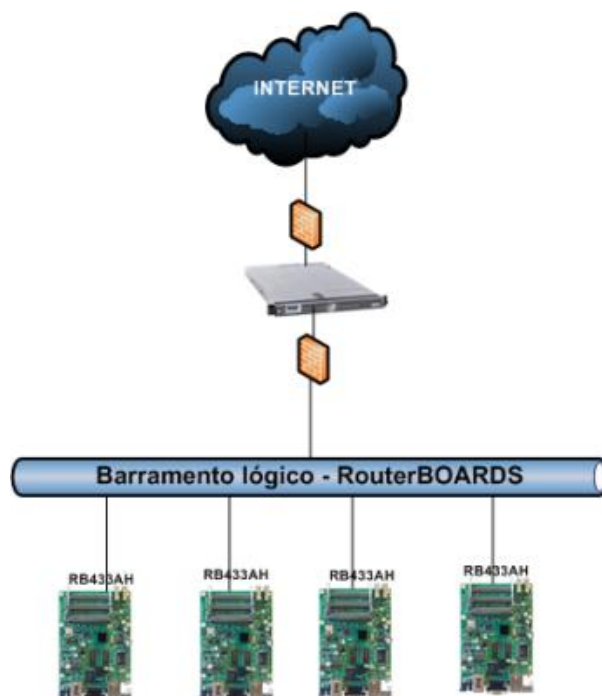


Figura 4-15 - Barramento lógico via EoIP

Na topologia anterior, o roteador de borda ilustrado na Figura 4-14 é um computador PC com sistema operacional MikroTik RouterOS, o mesmo pré-instalado nos roteadores RB433AH, mantendo um padrão de configuração entre o roteador de borda e os roteadores *wireless* espalhados ao longo do campus.

Este trabalho mostra a configuração do “RouterOS” via comandos de console ao invés da interface gráfica. Isto se deve ao fato do manual de referência oficial do “RouterOS” seguir este padrão, bem como não tornar inviável a publicação passo a passo das configurações por impressão de dezenas de telas, legendas e explicações.

Como referência a configuração e aos comandos será usada a documentação oficial e guias de referências (MikroTik-Manual 2010). Consideramos para a etapa seguinte que o sistema operacional RouterOS já esteja devidamente instalado, conectados e pronto para receber as configurações.

4.5 Configuração dos equipamentos

Esta seção apresenta o passo a passo para configuração dos roteadores de borda e roteadores *wireless* que compõem a topologia da rede sem fio na UFLA.

4.5.1 Configuração inicial do Roteador de borda (PC-RouterOS)

Para função de roteador de borda é utilizado um computador Intel PC 3.0GHz com 1GB de memória RAM, além de interface de rede *gigabit* (NIC – *Network Interface Adapter*). O RouterOS deve possuir os seguintes módulos (*packages*) adicionados durante sua instalação: *Advanced-tools*, *Hotspot*, *NTP*, *PPP*, *routing*, *security*, *system*.

Após conectar-se ao RouterOS via telnet/ssh, siga os passos adiante:

- a) O comando a seguir é para criar um nome ao roteador para identificá-lo em sessões de terminal pela rede, em nosso caso o nome escolhido foi “*Border Router*”:

```
[admin@MikroTik] > /system identity set name="Border  
Router"
```

- b) Devemos configurar a NIC conectada ao *backbone* IP UFLA e internet através de IP válido acessível a partir das LANs internas dos departamentos, nosso caso o IP será 200.131.250.190/24, e também a rota padrão (*default gateway*) para a internet, nosso caso 200.131.250.129.

```
> /ip address add address=200.131.250.190/24  
interface=ether1  
  
> /interface ethernet print  
  
> /interface ethernet enable 0  
  
> /ip route add dst-address=0.0.0.0/0  
gateway=200.131.250.129
```

- c) O comando a seguir ativará serviços de tunelamento no roteador que possibilitarão a conexão dos roteadores *wireless* com nosso roteador de borda através de túneis, a fim de possibilitar o *Roaming* entre as ERBs. Também nesta etapa será configura o servidor DNS para resolução de nomes.

```
> /interface pptp-server server set enabled=yes  
  
> /ip dns set allow-remote-requests=yes cache-max-ttl=1w  
primary-dns=200.131.250.1 secondary-dns=200.131.250.5
```

- d) Nesta etapa iremos criar uma *interface bridge* que reunirá todos os túneis do roteador de borda até os roteadores *wireless* do campus, além de configurar o IP 10.4.0.1/24 para esta *bridge*, e também um servidor DHCP para fornecer automaticamente IPs desta faixa aos clientes Wi-Fi.

```
> /interface bridge add arp=proxy-arp auto-mac=yes
disabled=no mtu=1500 name=bridge-EoIP protocol-mode=rstp
> /ip address add address=10.4.0.1/24 interface=bridge-EoIP
> /ip pool add name=dhcp_pool1 ranges=10.4.0.2-10.4.0.254
> /ip dhcp-server add address-pool=dhcp_pool1
interface=bridge-EoIP lease-time=1h name=dhcp1
> /ip dhcp-server network add address=10.4.0.0/24
comment="mobile workstations" gateway=10.4.0.1
```

- e) Os últimos passos são as configurações do portal de autenticação via web (*hotspot*) com autenticação nome/senha através do servidor radius já existente na UFLA no IP 200.131.250.5, e também das políticas de *firewall* para o correto funcionamento deste portal.

```
> /ip hotspot profile add dns-name=ufla.br hotspot-
address=10.4.0.1 html-directory=hotspot login-by=https
name=hsprof1 nas-port-type=ethernet radius-accounting=yes
radius-default-domain=ufla.br use-radius=yes
> /ip hotspot user profile set default idle-timeout=none
keepalive-timeout=2m name=default rate-limit=500k/500k add
advertise=no name=padrao open-status-page=always rate-
limit=500k/500k shared-users=1 use-radius=yes
> /radius add accounting-backup=no accounting-port=1813
address=200.131.250.5 authentication-port=1812 disabled=no
```

```
secret="XXXXXX" service=login,hotspot,wireless
timeout=300ms
```

Ao final das configurações iniciais, o roteador de borda estará apto a exercer a interconectar todos os roteadores *wireless* RB433AH. Por isso o próximo passo será a configuração inicial desses dispositivos RB433AH.

4.5.2 Configuração inicial dos Roteadores *wireless* (RB433AH-RouterOS)

Para função de roteador *wireless* é utilizado os mini computadores RouterBoard RB433AH com RouterOS pré-instalado. A fim de exemplificar de forma prática e funcional, a configuração desta sessão se baseará na realidade da ERB denominada “DAG”. Os demais roteadores *wireless* seguem o mesmo padrão, devendo apenas modificar as características exclusivas de cada ponto, por exemplo, o IP de cada roteador na rede local.

- a) O comando a seguir é para criar um nome ao roteador para identificá-lo em sessões de terminal pela rede, em nosso caso o nome escolhido foi “*DAG Router*”:

```
[admin@MikroTik] > /system identity set name="DAG Router"
```

- b) Devemos configurar a NIC conectada a rede local (LAN) do departamento de agricultura através de IP privado (*intranet*) com acesso a internet. No estudo de caso o IP deste roteador na rede local é 192.168.80.253/24, e a rota padrão (*default gateway*) para a internet é 192.168.80.1.

```
> /ip address add address=192.168.80.253/24 interface=ether1
> /interface ethernet print
> /interface ethernet enable 0
> /ip route add dst-address=0.0.0.0/0 gateway=192.168.80.1
```

- c) Este roteador RB433AH possui três transceptores RF acoplados, e a configuração de um se aplica de forma idêntica aos demais. Nesta etapa se dará a configuração deles para uso do padrão IEEE 802.11b – 2.4GHz, o nome público da rede sem fio (SSID – *Service Set Identifier*) será “UFLA”, e a frequência de operação será ajustável de forma dinâmica e automática.

```
> /interface wireless print
> /interface wireless enable 0,1,2
> /interface wireless set 0,1,2 enabled band=2.4ghz-b
basic-rates-b=1Mbps          country=brazil          default-
authentication=yes          default-forwarding=no          dfs-mode=radar-
detect hide-ssid=no          ssid=UFLA
```

- d) Nesta etapa iremos criar uma *interface bridge* que reunirá todos as NICs transceptoras em apenas uma *interface* lógica, e mais adiante abrigará também o túnel até o “Roteador de borda”.

```
> /interface bridge add auto-mac=yes disabled=no mtu=1500
name=bridge protocol-mode=rtsp
> /interface bridge port add bridge=bridge interface=wlan1
> /interface bridge port add bridge=bridge interface=wlan2
> /interface bridge port add bridge=bridge interface=wlan3
```

Ao final das configurações iniciais, o roteador *wireless* estará apto a se conectar e estabelecer um túnel com o roteador de borda através do *backbone* UFLA, possibilitando todos os serviços configurados na borda, como autenticação, roteamento, DHCP, e outros.

Na próxima etapa são mostrados os comandos para se estabelecer o túnel entre a borda e os roteadores *wireless*, ativar a autenticação por nome/senha

através do túnel, e finalmente propagar todos esses serviços através dos transceptores de rádio. Essas configurações deverão ser feitas em ambas as pontas do túnel.

4.5.3 Configuração dos túneis entre os roteadores

Esta sessão transcreve a configuração e comandos a serem aplicados no roteador *wireless*, usando como caso exemplificado a estação “DAG”.

- a) Os comandos a seguir configuram a ponta cliente do túnel, devendo ser aplicados na RB433AH. É configurada uma interface PPTP (*Point-to-Point Tunneling Protocol*) apontada para o IP do roteador de borda 200.131.250.190, com o nome de usuário “dag” e senha “XXXXXX”. Em seguida é configurada a *interface* de rede (NIC) lógica do túnel (EoIP) apontando para o IP 172.16.1.1 –borda- do barramento lógico criado entre a borda e este roteador.

```
[admin@DAG Router] > /interface pptp-client add add-
default-route=no allow=pap,chap,mschap1,mschap2 connect-
to=200.131.250.190 disabled=no name=pptp-out1 user=dag
password="XXXXXX" profile=default-encryption
```

```
[admin@DAG Router] > /interface eoip add arp=enabled
disabled=no mac-address=FE:AA:2E:8E:84:54 mtu=1500
name=eoip remote-address=172.16.1.1 tunnel-id=10
```

- b) Para finalizar a configuração do roteador *wireless* basta incluir a nova NIC “eoip” na *bridge* criada anteriormente.

```
[admin@DAG Router] > /interface bridge port add
bridge=bridge port=eoip
```

Aplicando os seguintes comandos ao roteador *wireless* é encerrada a configuração neste dispositivo. É necessária última configuração no roteador de

borda para aceitar as requisições dos roteadores clientes, e para isso aplicamos os seguintes comandos no “Roteador de borda”:

- a) Os comandos a seguir configuram a ponta servidora do túnel, devendo ser aplicados no roteador de borda PC-RouterOS. É configurada uma credencial de túnel nome “dag” e senha “XXXXXX”, cujo IP remoto será 172.16.1.2. Em seguida configuramos a *interface* de rede (NIC) lógica do túnel (EoIP) apontando para o IP 172.16.1.2 –RB433AH- do barramento lógico criado entre a borda e este roteador.

```
[admin@Border Router] > /ppp secret add name=dag
password="XXXXXX" local-address=172.16.1.1 profile=default-
encryption remote-address=172.16.1.2 service=pptp

[admin@Border Router] > /interface eoip add arp=enabled
mac-address=02:37:D0:35:11:FD mtu=1500 name=eoip-DAG
remote-address=172.16.1.2 tunnel-id=10
```

- b) Para finalizar a configuração do roteador *wireless* é necessário incluir a nova NIC “eoip” na *bridge* criada anteriormente, e ativar o portal de autenticação nessa *bridge*.

```
[admin@Border Router] > /interface bridge port add
bridge=Bridge-EoIP interface=eoip-DAG

[admin@Border Router] > /ip hotspot add address-
pool=dhcp_pool1 addresses-per-mac=2 disabled=no idle-
timeout=5m interface=bridge-eoips name=hotspot-UFLA
profile=hsprof1
```

Os demais roteadores *wireless* possuem configuração semelhante a descrita para o “DAG”. O próximo capítulo apresenta alguns resultados obtidos após instalação dos pontos descritos. Estes pontos permitiram a disponibilização

da rede sem fio para uso dos acadêmicos, e serão mostrados telas do sistema de monitoração e gerenciamento, além de gráficos de utilização de banda.

5 RESULTADOS

Durante o período que compreende a disponibilização da rede sem fio e a escrita final deste trabalho, é possível afirmar que as metas estabelecidas no projeto da primeira etapa foram cumpridas através da instalação da infraestrutura de rede sem fio estendendo o acesso à Rede IP UFLA com mobilidade externa ao longo de toda a avenida central.

Apresentamos neste capítulo algumas telas gráficas e suas descrições do sistema operacional RouterOS, pelo qual é possível realizar alterações e monitorações na rede sem fio da universidade em tempo real.

Na Figura 5-1 é mostrada uma tela do roteador de borda que apresenta os túneis estabelecidos entre o roteador de borda e os roteadores *wireless* espalhados pelo *campus*, bem como os respectivos tráfegos no momento do *screenshot*.

Interface	Ethernet	EoIP Tunnel	IP Tunnel	VLAN	VRRP	Bonding
Name	Type	Tx	Rx	Tx Pac.	Rx Pac.	
R #eosp-BIBLIOTECA	EoIP Tunnel	214.5 kbps	46.3 kbps	42	36	
R #eosp-DAG	EoIP Tunnel	15.3 kbps	0 bps	17	0	
R #eosp-DCC	EoIP Tunnel	49.3 kbps	2.4 kbps	22	5	
R #eosp-DCS	EoIP Tunnel	34.1 kbps	15.5 kbps	23	13	
R #eosp-DEG	EoIP Tunnel	13.1 kbps	7.0 kbps	13	11	
R #eosp-DFP	EoIP Tunnel	15.3 kbps	0 bps	17	0	
R #eosp-DMV	EoIP Tunnel	29.9 kbps	145.7 bps	18	2	
R #eosp-ORCA	EoIP Tunnel	129.1 kbps	25.7 kbps	28	15	
R #eosp-DZO	EoIP Tunnel	15.3 kbps	0 bps	17	0	
R #eosp-FISIOLOGIA	EoIP Tunnel	15.3 kbps	0 bps	17	0	
X #eosp-UFPA	EoIP Tunnel	0 bps	0 bps	0	0	

Figura 5-1 – Túneis dos roteadores

A próxima tela mostrada na Figura 5-2 apresenta a autenticação da rede sem fio via navegador (*Hotspot*). Esta tela é apresentada quando o usuário faz sua primeira tentativa de navegação. Todos os serviços IP são bloqueados até que o usuário entre com sua credencial eletrônica da UFLA (email acadêmico / senha). Estes dados serão checados através de um servidor RADIUS pré-existente na universidade, e gerido pelo CIN-UFLA. Essa autenticação utiliza um diretório LDAP para banco de credenciais, cujo funcionamento é ilustrado no diagrama da Figura 5-3.



Figura 5-2 - Autenticação da rede sem fio

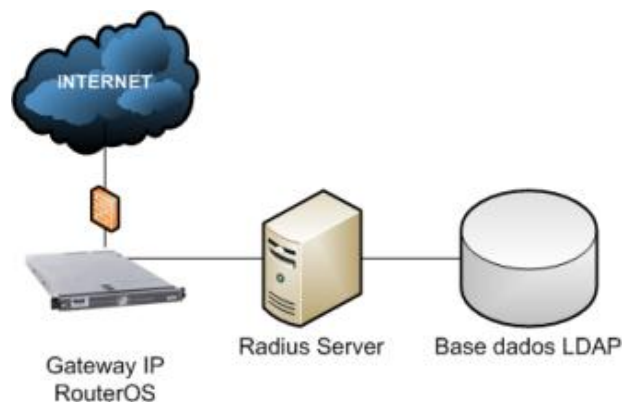


Figura 5-3 - Autenticação em LDAP

As próximas figuras apresentam gráficos relativos ao consumo de banda IP na rede UFLA por parte dos usuários sem fio. Na Figura 5-4 é apresentado gráfico de consumo diário que corresponde ao período das 06h00min do dia 07 de junho 2010 até as 13h00min do dia 08 de junho 2010.

"Daily" Graph (5 Minute Average)

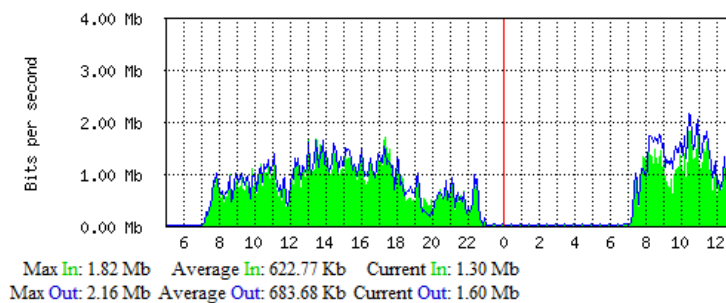


Figura 5-4 – Consumo de banda no período de 07 a 08 de junho de 2010

Na legenda de cada gráfico são indicados valores máximos, de média e atuais de consumo, sendo o preenchimento de cor clara relativo a *download* e a linha escura relativo a *upload* (na perspectiva do roteador). Para perspectiva do usuário, basta inverter a ótica.

Na ilustração 5-5 é apresentado o gráfico da semana que abriga o feriado de *Corpus Christi* em junho de 2010, sendo fácil a percepção de um uso atípico e reduzido no período de quinta-feira a domingo, em razão ao feriado coletivo.

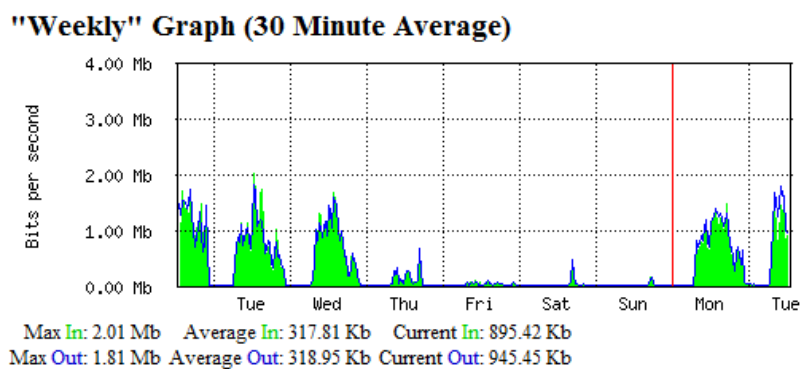


Figura 5-5 - Uso de banda semana do feriado *Corpus Christi* junho de 2010

De forma a constatar a área de cobertura da rede sem fio, foi efetuado após as instalações um novo *site survey* para medir a qualidade do sinal de RF em alguns pontos da universidade. Foram utilizados notebooks com o Software NetStumbler, e também o auxílio do equipamento AP Router WAP 354 LCD-B, mostrado na Figura 5-6.



Figura 5-6 - Equipamento medidor de sinal

Através deste *site survey* foi possível constatar o cumprimento do objetivo de ampla cobertura externa ao longo da avenida, com *roaming* transparente. Também foi possível mapear alguns pontos de sombra, que são aqueles locais onde o nível de sinal é nulo ou insuficiente para um enlace de qualidade.

A seguir serão mostrados alguns gráficos que refletem a cobertura externa em um ponto da avenida central em frente ao Departamento de Ciência da Computação, e a cobertura deficiente encontrada nos pontos internos, situação já prevista no projeto e que reforça a necessidade de uma segunda etapa na instalação de repetidores da rede sem fio no interior de prédios.

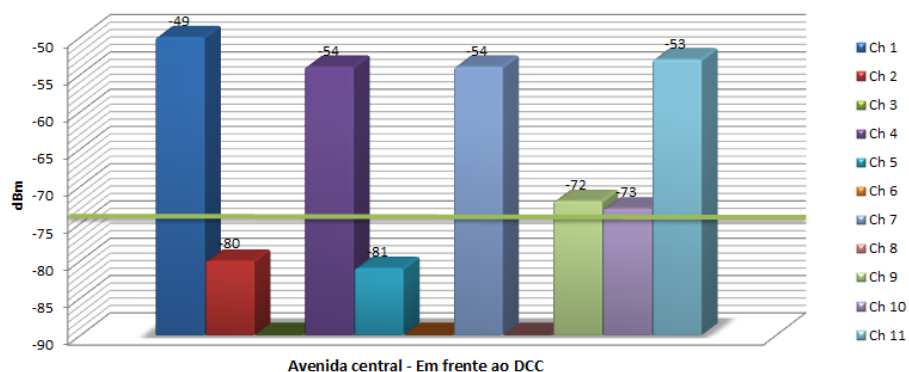


Figura 5-7 - Cobertura da RSF em frente ao DCC

Na Figura 5-7 é mostrado um gráfico com os níveis de sinais recebidos por um notebook em cima do *caput* de um automóvel estacionado em frente ao DCC na avenida central do *campus*. A linha verde indica um limiar entre conectividade com qualidade, e abaixo representa uma conexão instável ou nula.

Os valores foram mensurados pelo *Software* NetStumbler em dBm, e nesta região verifica-se pelo menos quatro transceptores atendendo com excelente qualidade, possibilitando acesso estável e de alta velocidade à Rede IP.

O *Roaming* se dá quando o sinal do AP conectado chega próximo ao limiar, e ao mesmo tempo existe outro transceptor com qualidade de sinal

superior ao enlace atual. O dispositivo cliente Wi-Fi automaticamente disassocia-se do AP atual, e associa-se novamente ao novo AP de forma rápida e transparente. Foi verificado um tempo de *hand-off* de aproximadamente três segundos, suficiente para congelar (*jitter*) temporariamente uma chamada VoIP ou de video conferência, porém na maioria das vezes imperceptível na abertura de páginas web, envio de emails, e outras atividades corriqueiras na internet.

Na Figura 5-8 é mostrado um gráfico com os níveis de sinais recebidos no interior do prédio Reitoria – Recepção. Neste ponto verifica-se pelo menos dois transceptores atendendo com qualidade os clientes da rede sem fio naquele local, porém é uma situação que pode ser bastante melhorada com o uso de repetidores, se comparado ao gráfico da Figura 5-7 anterior.

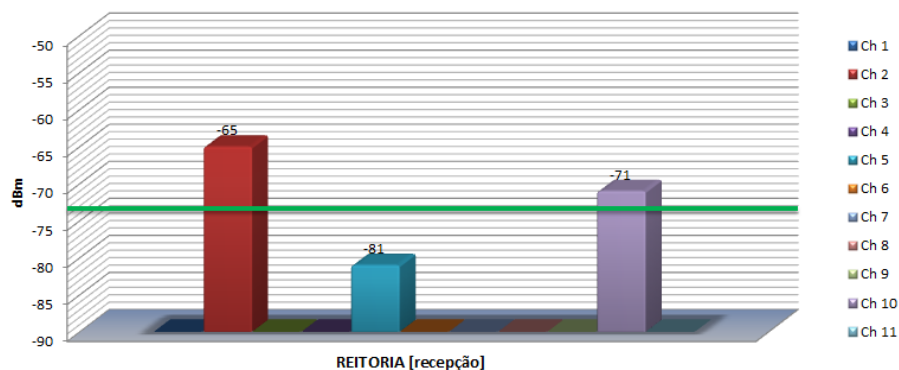


Figura 5-8 - Gráfico Reitoria

Na Figura 5-9 é apresentado gráfico de característica similar, com os níveis RF no interior do Departamento de Ciência da Computação – Hall de Entrada. Verifica-se que neste ponto há apenas um transceptor atendendo com qualidade os clientes do local. Indica também que não há redundância no acesso, e no caso de alguma falha ou interferência neste transceptor, o local poderá ficar sem conexão *Wi-Fi*.

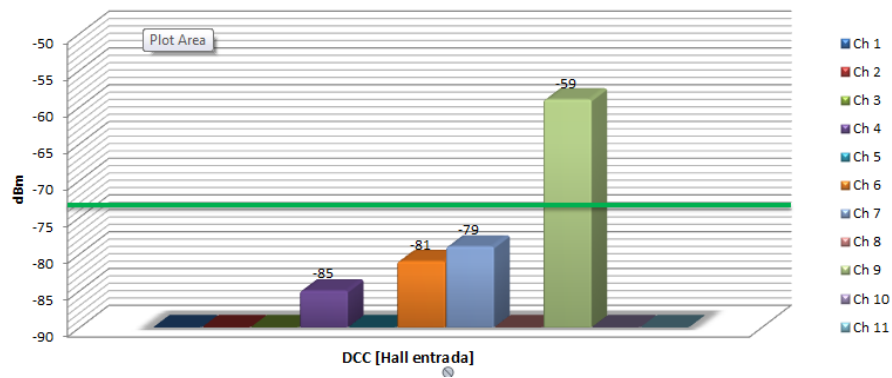


Figura 5-9 - Gráfico DCC Hall entrada

Na Figura 5-10 é apresentado o gráfico com níveis de RF no interior do DCC – Anfiteatro. Verifica-se que neste ponto não há conexão com qualidade, ou a mesma é inexistente. Este anfiteatro é considerado ponto crítico na disponibilização de acesso móvel, de forma a possibilitar acesso a internet para professores, palestrantes e ouvintes.

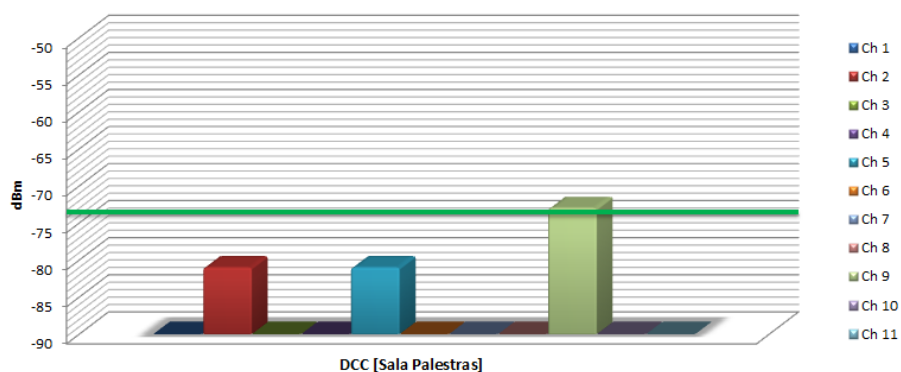


Figura 5-10 - Gráfico DCC Anfiteatro

Os dados apresentados por esses gráficos demonstram boa parte dos resultados deste trabalho. O mapeamento total dos níveis RF no interior de cada prédio na UFLA será completado no início da 2ª etapa, a ser programado pela administração da universidade.

As Figuras 5-11 e 5-12 são fotos ilustrativa de dois locais alvo do *Site Survey*, o Departamento de Ciência da Computação e a Biblioteca Central, respectivamente.



Figura 5-11 - *Site Survey* DCC



Figura 5-12 – Ponto de concentração Biblioteca

No próximo capítulo são apresentadas as considerações finais sobre a instalação e uso da rede sem fio na UFLA, e proposição de trabalhos futuros.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou conceitos e práticas acerca das redes de computadores sem fio, incluiu etapas de um projeto para implantação de uma rede móvel com cobertura externa ao longo da avenida central na UFLA.

Foram adotados equipamentos e *softwares* das marcas RouterBOARD e MikroTik respectivamente, que se mostraram eficientes na disponibilização, segurança e gerência dessa rede sem fio em *campus*. São possíveis controles diversos em cada ERB, e também em nível específico de cada usuário, podendo cada usuário possuir perfis diferentes, por exemplo, aluno e professor terem prioridade na rede em relação a servidores, entre outras diversas funções.

A mobilidade alcançada ainda é um fator a ser bastante melhorado, mas como previsto nesta primeira etapa a cobertura se dá satisfatoriamente nas áreas externas do *campus* da UFLA que vão desde o início da avenida na prefeitura, até suas extremidades popularmente conhecidas no meio acadêmico como “café” e “veterinária”.

O custo total do empreendimento, que compreende projeto, materiais, equipamentos e mão de obra, ficou aproximadamente cinco vezes menor que soluções proprietárias como Motorola Canopy, Trilliantinc Skypilot, algo em torno de R\$ 60.000,00 na época.

A monitoração da rede permitiu a identificação da ERB “Biblioteca Central”, identificada na Figura 5-12, como o ponto de maior concentração de usuários e de maior tráfego de rede dentre todos os roteadores *wireless*. É chamada a atenção para este local como um ponto crítico a ser ampliado e melhorado em novas etapas a serem cumpridas na rede sem fio da universidade.

A autenticação da rede sem fio, ilustrada na Figura 5-3, já obedece aos novos padrões de segurança do CIN-UFLA que em futuro próximo irá requerer autenticação também em toda a rede cabeada da universidade. A rede sem fio é

pioneira na autenticação usando esta base de dados central da UFLA baseada em LDAP e se mostrou estável e segura sugerindo *feedback* positivo na migração para autenticação 802.1x na rede cabeada.

O capítulo seguinte sugere estudos para trabalhos futuros no sentido de ampliar a área de cobertura da RSF também no interior de prédios e salas de aula na UFLA.

7 TRABALHOS FUTUROS

Além da implantação prática descrita neste trabalho, alguns experimentos foram iniciados em paralelo na tentativa de melhorar e complementar a rede sem fio descrita neste trabalho, porém até o momento não existem dados conclusivos que possam ser pertinentes a esta publicação.



Figura 7-1 - Roteador *wireless* Edimax 7209

Como trabalhos futuros, esses experimentos incluem testes com roteadores *wireless* domésticos de custo extremamente baixo, vide Figura 7-1, que se conectariam aos RouterBOARDS da rede principal como repetidores *wireless* internos. Nos laboratórios foi utilizado WDS para conexão a RSF, e como elemento de propagação de RF um cabo do tipo irradiante, vide figura 7-2, que substitui a tradicional antena omni-direcional ou setorial, garantindo uma área de cobertura mais homogênea ao longo do cabo.

É esperado o acesso ubíquo à rede IP também do interior de prédios e salas de aula após a conclusão desses trabalhos futuros.

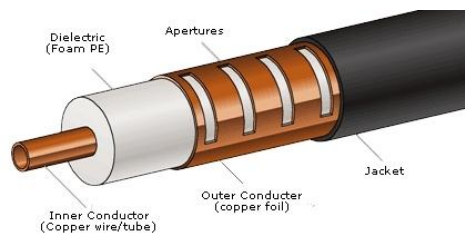


Figura 7-2 - Cabo irradiante, dispensa uso de antena

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANATEL. **Regulamento do Serviço de Comunicação Multimídia**. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br>, acessado em 02 de fevereiro de 2010.

ANATEL. **Lei Geral das Telecomunicações**. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br>, acessado em 02 de fevereiro de 2010.

CASTILHOS, Florencio. **Principais unidades de medidas wireless**. http://www.sj.cefetsc.edu.br/wiki/index.php/Principais_unidades_de_medidas_wireless, Outubro 2006. Acessado em julho de 2009.

CORREIA, Luiz Henrique Andrade. **Tópicos em Tecnologias de Comunicação Sem Fio**. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (especialização) a distância: Tecnologia de Redes de Computadores. Editora UFLA/FAEPE, 2007.

DISCOVERY. **Is 4G better than 3G**. Just when getting comfy with 3G phones, new 4G comes along to shake things up. Disponível em: <http://news.discovery.com/tech/is-4g-better-than-3g.html>, acessado em 12 de outubro de 2009.

GARG, V. **Wireless Communications and Networking**. Morgan Kaufmann Publishers, p. 60, 2009.

HYPERLINKTECH. **802.11b/g Panel Antenna HG2417P-120 datasheet**. Disponível em: <http://www.hyperlinktech.com>, acessado em 02 de outubro de 2009.

IEEE. **IEEE 802.11 Standard for information Technology.** Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. Disponível em:
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4432401, acessado em 18 de dezembro de 2009

IEEE. **IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks.** www.ieee802.org/11/, acessado em 18 de dezembro de 2009

MIKROTIK. **MikroTik RouterOS Reference Guide.** Disponível em <http://www.mikrotik.com>, acessado em 10 de abril de 2010.

MOODLE. **Open-source community-based tools for learning.** Disponível em <http://www.moodle.org>, acessado em 02 de março de 2010.

NOPWORLD. **Wireless sector investments.** Overview from investments on TI. Disponível em:
http://www.spss.com/success/template_view.cfm?Story_ID=102, acessado em dez de agosto de 2009.

PAPADOPOULI, Maria. **Modeling Roaming in Large-scale Wireless Networks,** Disponível em:
<http://delivery.acm.org/10.1145/1630000/1629518/p85-rakers.pdf?key1=1629518&key2=0370458621&coll=portal&dl=ACM&CFID=4389858&CFTOKEN=6706078>, acessado em 17 de setembro de 2009.

RAKERS, Jason. **Measuring wireless network success**. An analysis of a University in Ohio. Disponível em:

<http://delivery.acm.org/10.1145/1630000/1629518/p85-rakers.pdf?key1=1629518&key2=0370458621&coll=portal&dl=ACM&CFID=4389858&CFTOKEN=6706078>, acessado em 12 de outubro de 2009.

TANEMBAUM, Andrew. *Computer networks*. Prentice Hall PTR, 4 ed. edition, 2003.

UFLA, **Portal da Universidade Federal de Lavras**. Disponível em: <http://www.ufla.br>, acessado em 02 de janeiro de 2010.