

**Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Bacharelado em Sistemas de Informação
INE5638 – Projetos 2**

Renan José dos Santos

**Metodologia de Implantação de Redes Sem Fio
Considerando Requisitos de Tráfego de Voz**

Volume Único

**Florianópolis
2013/1**

Renan José dos Santos

**Metodologia de Implantação de Redes Sem Fio
Considerando Requisitos de Tráfego de Voz**

Volume Único

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação na Universidade Federal de Santa Catarina.

Área de Concentração: Redes Sem Fio de Computadores e VoIP

Orientador: Prof. Roberto Willrich

Florianópolis

2013/1

Renan José dos Santos

**Metodologia de Implantação de Redes Sem Fio
Considerando Requisitos de Tráfego de Voz**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Roberto Wilrich, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca examinadora

Prof. Mário Antônio Ribeiro Dantas, Dr.

Prof. Vítório Bruno Mazzola, Dr.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais pelo apoio e incentivo que me foi dado durante toda a graduação e à minha namorada por sua cumplicidade e compreensão durante os longos semestres necessários para realização deste projeto. Ao meu orientador, agradeço imensamente por compartilhar seu conhecimento e à toda banca por aceitar participar deste que até agora foi o maior projeto de minha vida. Por fim agradeço a Deus, por me dar saúde e a oportunidade de concluir mais esta importante etapa.

Resumo

Nos últimos anos pôde ser observada a popularização dos dispositivos móveis com as mais variadas funções, dentre os principais recursos pode ser citado o suporte a redes Wi-Fi. Com o surgimento da demanda, aliado ao baixo preço dos links de Internet, a redução de custos dos equipamentos necessários para montagem das redes sem fio e ao barateamento dos próprios dispositivos móveis, houve uma explosão no número de redes sem fio espalhadas pelos mais variados locais, públicos ou privados. Paralelamente a tudo isto, impulsionado pelo aumento da velocidade dos links de dados e pelo alto custo das ligações telefônicas convencionais, a tecnologia Voz Sobre IP (VoIP) apresentou um grande incremento em sua procura e utilização, onde seus usuários buscam ligações telefônicas de baixo custo.

Simultaneamente a toda evolução apresentada acima, os usuários de VoIP que acessam este serviço por meio de Internet sem fio, mais especificamente por Wi-Fi, frequentemente sofrem com o baixo desempenho de suas ligações telefônicas, pelos mais diversos motivos. Observando a inexistência de uma metodologia de implantação de redes sem fio amplamente aceita e que leve em consideração os requisitos do tráfego de voz, este trabalho de conclusão de curso visa realizar uma análise da problemática de manutenção de qualidade de voz em redes Wi-Fi e a proposição de uma metodologia de implantação de redes Wi-Fi considerando os requisitos de rede para o tráfego de voz.

Palavras-chave: Metodologia de implantação, Wi-Fi, Voz sobre IP

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Objetivos	13
1.2	Estrutura do Projeto.....	14
1.3	Método de Pesquisa.....	14
2	VoIP	16
2.1	Telefonia Convencional	16
2.2	Vantagens e Desvantagens Telefonia Convencional x VoIP.....	18
2.3	Protocolo de Sinalização SIP.....	19
2.4	Protocolo RTP	21
2.4.1	Características do RTP	22
2.5	Qualidade de Serviço (QoS) em VoIP	23
2.6	Elementos que afetam qualidade em VoIP	24
2.6.1	Atraso	25
2.6.2	Jitter.....	27
2.6.3	Perda de Pacotes.....	29
2.7	Codecs	29
2.7.1	G.711	31
2.7.2	G.722	32
2.7.3	G.723.1	32
2.7.4	G.726	33
2.7.5	G.728	33
2.7.6	G.729	33
2.8	Técnicas de Avaliação de Qualidade em VoIP.....	34
2.8.1	MOS.....	34
2.8.2	E-Model	37
3	Redes sem Fio e Metodologias de Implantação	39
3.1	IEEE 802.11.....	41
3.1.1	Camadas IEEE 802.11	42
3.1.2	Topologias de redes IEEE 802.11.....	43
3.1.3	Segurança em redes IEEE 802.11	45
3.2	Metodologias de Projeto de Redes sem Fio.....	48
3.2.1	Metodologia Proposta por Mattos (2006)	49

3.2.2	Considerações de Projeto e Implantação de Redes Sem Fio (MARX, 2008).....	53
4	VoIP em WLAN	56
4.1	QoS em Wi-Fi (IEEE 802.11e).....	56
4.2	Aspectos do Wi-Fi que afetam VoIP.....	58
4.2.1	Handoff.....	59
4.2.2	Tráfego em rajadas.....	59
4.2.3	Capacidade de redes Wi-Fi.....	60
5	Proposta de Metodologia de Implantação de Redes Sem Fio Homologadas para VoIP. 62	
5.1	Visão Geral da Metodologia Proposta	62
5.2	Fase de Projeto.....	64
5.2.1	Levantamento de Requisitos.....	65
5.2.2	Estimativa de Tráfego de Rede.....	65
5.2.3	Estudo de ambiente e de cobertura desejada	68
5.2.4	Estudo de infraestrutura de rede e elétrica	68
5.2.5	Identificação de fontes de interferência	69
5.2.6	Definição de Requisitos do APs.....	69
5.3	Fase de Implantação	73
5.3.1	Posicionamento dos Equipamentos.....	73
5.3.2	Estudo de cobertura de sinal.....	74
5.3.3	Estudo de frequências.....	75
5.3.4	Validação da Implantação	76
5.3.5	Possíveis Ajustes de Posicionamento, Configurações ou Especificação de Equipamentos	78
6	Estudo de caso	80
6.1	Fase de Projeto.....	80
6.1.1	Levantamento de Requisitos.....	80
6.1.2	Estimativa de Tráfego da Rede.....	81
6.1.3	Estudo de ambiente e de cobertura desejada	82
6.1.4	Estudo de infraestrutura de rede e elétrica	84
6.1.5	Identificação de fontes de interferência.....	86
6.1.6	Definição de Requisitos do APs.....	86
6.2	Fase de Implantação	89
6.2.1	Posicionamento dos Equipamentos.....	89

6.2.2	Estudo de Cobertura de Sinal	90
6.2.3	Estudo de frequências.....	93
6.2.4	Validação da Implantação	93
6.2.5	Possíveis Ajustes de Posicionamento, Configurações ou Especificação de Equipamentos	97
6.3	Comparativo Com e Sem Utilização de QoS.....	98
6.3.1	Sem QoS	98
6.3.2	Com QoS.....	102
6.3.3	Análise dos Resultados.....	103
7	Conclusões, Limitações e Trabalhos Futuros	104
	Referências.....	106

Lista de Figuras

Figura 1 - Sistema telefônico (PETIT 2002).....	16
Figura 2 - Sistema digital (PETIT 2002).....	17
Figura 3 - Uso do canal de voz (PETIT 2002).....	18
Figura 4 - Eco de locutor (PETIT 2002).....	26
Figura 5 - Eco de ouvinte (PETIT 2002).....	26
Figura 6 - Transmissão sem <i>jitter</i>	28
Figura 7 - Transmissão com <i>jitter</i>	28
Figura 8 - Codificação de som analógico em digital (KUMAR 2006).....	30
Figura 9 - Codificação e compressão de som analógico em digital (KUMAR 2006)....	30
Figura 10 - Relação “Pontuação MOS x Taxa de bits por segundo” (PETIT 2002).....	36
Figura 11 - Relação entre MOS e E-model (ITU-T G.107, 2005).....	38
Figura 12 - Topologia Bluetooth (TANEMBAUM, 2003).....	39
Figura 13 - Topologia LAN sem fio (TANEMBAUM, 2003).....	40
Figura 14 - Topologia ESS (TORRES, 2009).....	44
Figura 15 - Topologia BSS (TORRES, 2009).....	44
Figura 16 - Topologia IBSS (TORRES, 2009).....	45
Figura 17 - Criptografia WEP (ROSS E KUROSE, 2010).....	46
Figura 18 - Funcionamento do protocolo TKIP. (TORRES, 2009).....	47
Figura 19 - Criação dos pares de chaves. (TORRES, 2009).....	48
Figura 20 - Etapas de implantação rede Wi-Fi. (MATTOS 2006).....	50
Figura 21 - Cobertura ponto de acesso 1 (MATTOS, 2006).....	51
Figura 22 - Cobertura ponto de acesso 2 (MATTOS, 2006).....	51
Figura 23 - Cobertura ponto de acesso 3 (MATTOS, 2006).....	52
Figura 24 - Frequências utilizadas (MATTOS, 2006).....	52
Figura 25 – Campus UNOESC x Distribuição dos APs (MARX, 2008).....	54
Figura 26 – Fases e etapas da metodologia.....	63
Figura 26 – Planta baixa com cobertura desejada.....	83
Figura 27 – Planta baixa com cobertura desejada e infraestrutura existente.....	85
Figura 28 – Posicionamento inicial do AP.....	90
Figura 29 – Pontos das medições de sinal.....	92
Figura 30 – Simulação tráfego de fundo.....	95
Figura 31 – Simulação chamadas VoIP.....	96

Figura 32 – Ping	97
Figura 33 – Resultado Jperf	97
Figura 34 – Fluxo UDP sem marcação sem QoS.....	99
Figura 35 – Exemplo de pacote marcado	100
Figura 36 – Fluxo UDP com marcação sem QoS.....	101
Figura 37 – Fluxo UDP com marcação com QoS	102

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Métodos SIP (SINNREICH 2006).....	20
Tabela 2 - Classes de Código de Resposta SIP (SINNREICH 2006)	21
Tabela 3 – Tipos de payload (PETIT 2002).....	23
Tabela 4 - Lista de CODECs mais utilizados (TELECO 2012).....	31
Tabela 5 - Pontuação MOS (PETIT 2002).....	35
Tabela 6 - Codecs x Pontuação MOS (PETIT).....	36
Tabela 7 - Diferenças entre padrões IEEE 802.11	41
Tabela 8 – Taxas de bps de streams de vídeo (SUPPORT GOOGLE, 2013).....	67
Tabela 9 - dBm x milliwatts (MORIMOTO, 2011)	71
Tabela 10 - Atenuação de sinal (MATTOS, 2006)	71
Tabela 11 – Potência de Sinal x Velocidade (MORIMOTO, 2011)	72
Tabela 12 – Parâmetros de referência de satisfação (ETSI, 1998)	78
Tabela 13 – Potência de sinal presente em cada ponto	92
Tabela 14 – Contagem de redes existentes	93
Tabela 15 – Comparação de Desempenho Com e Sem QoS.....	103

1 Introdução

Com a multiplicação no número de Pontos de Acesso (AP - *Access Points*) oferecendo acesso sem fio às redes de computadores, geralmente através da tecnologia *Wi-Fi*, pelos mais diversos tipos de locais públicos e também em ambientes privados, observamos um grande crescimento na demanda por este tipo de acesso. Impulsionado também pela popularização e barateamento dos dispositivos móveis que suportam acesso a estas redes, redução de custos dos equipamentos necessários para montagem destas infraestruturas e aumento da velocidade dos links de dados ainda que por preços mais acessíveis.

Outro evento que ocorreu simultaneamente foi o aumento na utilização da tecnologia Voz sobre IP (VoIP), tanto por empresas que buscam a redução de custos com telefonia quanto por usuários comuns, que apenas desejam realizar contatos telefônicos particulares pagando nada ou o mínimo possível pelo serviço.

Geralmente as redes sem fio são desenhadas e implantadas sem que antes seja feito um estudo adequado do ambiente em questão, da demanda esperada, do nível mínimo de qualidade que deverá ser oferecido, de planejamento e suporte para futuras ampliações. Este cenário geralmente acarreta em um sistema ineficiente de dados sem fio, apresentando baixa ou simplesmente nenhuma qualidade nos serviços disponibilizados, por vezes inviabilizando o bom funcionamento de alguns recursos disponíveis na Internet, como exemplos chamadas VoIP, vídeo chamadas, vídeo e áudio *streaming*.

Com o intuito de evitar falhas e indisponibilidades em futuras instalações de redes Wi-Fi, aqui serão realizados os estudos e testes necessários para que seja definida uma metodologia de implantação de redes sem fio com garantia de funcionamento satisfatório de serviços VoIP, levando em consideração todas as variáveis que afetam a qualidade e inteligibilidade de ligações telefônicas deste tipo e também considerando características relativas ao ambiente em questão.

1.1 Objetivos

Este projeto tem como objetivo principal a definição de uma metodologia de implantação de redes sem fio considerando o tráfego VoIP. Serão feitos estudos e testes práticos, analisando todo o espaço físico que deverá ser coberto pela rede sem fio, definindo os equipamentos que comporão a infraestrutura, os locais onde cada equipamento deverá ser instalado e definindo métricas que quando satisfeitas garantirão o perfeito funcionamento do serviço em homologação.

Como objetivos específicos, seguem alguns pontos que se pretende alcançar:

- Levantamento bibliográfico sobre o tema identificando o atual estado da arte e avanço da tecnologia, incluindo publicações acadêmicas;
- Identificação das variáveis que prejudicam e melhoram o desempenho de redes Wi-Fi;
- Identificação das métricas de qualidade de redes de dados que influenciam na qualidade da voz;
- Estudo da problemática da manutenção da qualidade de voz em redes sem fio;
- Definição de metodologia de implantação de redes sem fio, apresentando cada passo e etapa envolvida no processo de implantação da rede;
- Definição da técnica de aferição do atendimento aos requisitos de desempenho da rede sem fio considerando os serviços de VoIP;
- Realizar um estudo de caso, envolvendo a implantação de uma rede sem fio, medições em ambiente real e análise dos dados coletados para aferição do estudo. Ainda será realizada uma comparação de desempenho com e sem o uso de QoS.

1.2 Estrutura do Projeto

No capítulo 2 é dada introdução ao tópico de VoIP, apresentando as vantagens desta tecnologia em relação aos serviços de telefonia convencional, mostrando os CODECs mais utilizados e suas características. Também é exposto o sistema telefônico convencional com enfoque na telefonia digital, ainda predominante nos dias de hoje. São apresentados os protocolos de transporte de dados para aplicações de tempo real, de troca de sinalização de início sessão mais popular atualmente utilizado e parâmetros de qualidade em VoIP.

No capítulo 3 serão abordadas as redes sem fio, apresentando as camadas de protocolos e as diferenças com as redes cabeadas. Também é dada atenção aos padrões de rede sem fio em utilização e são expostas as técnicas de segurança em redes sem fio que são mais amplamente encontradas. Além disto, neste capítulo são analisados trabalhos acadêmicos acerca do assunto tratado.

No capítulo 4 é apresentado um estudo a respeito de VoIP em redes sem fio, focando as variáveis que afetam a qualidade de VoIP especialmente neste tipo de rede.

O capítulo 5 apresenta a contribuição deste projeto, que é a metodologia de implantação de redes sem fio considerando manutenção de qualidade de tráfego de voz. São detalhadas as fases e etapas desta metodologia proposta.

No capítulo 6 a metodologia é aplicada a um estudo de caso real, aonde é feita ainda comparação de resultados obtidos com e sem utilização de QoS.

1.3 Método de Pesquisa

Seguindo o objetivo inicial do projeto, a proposta é traçar uma metodologia de implantação de redes sem fio homologadas para VoIP. Isto será alcançado através da realização de um estudo de outras metodologias de implantação de redes sem fio já existentes, compilando o que há de melhor em cada uma,

reaproveitando as técnicas que foram consideradas as melhores dentro de cada etapa envolvida no processo de implantação de redes sem fio. Quando forem observadas oportunidades, serão propostas melhorias nas técnicas escolhidas na criação da nova metodologia. Serão empregadas as ferramentas existentes no mercado que foram consideradas as mais adequadas ao estudo em questão. Por fim, será estabelecido um método de homologação para VoIP, com métricas e passos a serem seguidos para garantir qualidade do serviço, possibilitando identificar a necessidade de realização de alterações na rede para que se atinja nível satisfatório dos serviços.

O projeto foi realizado com estudos teóricos e testes práticos, com medições e análise de dados reais coletados visando atingir os objetivos propostos. O desenvolvimento do projeto contemplou as seguintes etapas:

1. Pesquisa bibliográfica sobre o tema, aprofundando o conhecimento necessário para realização do projeto. Avaliação de outros trabalhos acadêmicos relacionados ao tema;
2. Estudo das variáveis que prejudicam o desempenho de redes sem fio e do problema de qualidade de voz em sistemas VoIP. Estudo da problemática da manutenção da qualidade de voz em redes sem fio;
3. Avaliação de técnicas e ferramentais para implantação de redes sem fio e medição de desempenho;
4. Definição de uma metodologia de implantação de rede sem fio e homologação para serviço VoIP;
5. Realizar um estudo de caso;
6. Documentação do estudo.

2 VoIP

A tecnologia Voz Sobre IP (VoIP) foi desenvolvida para utilizar as redes de dados baseadas em protocolo IP (*Internet Protocol*) para transmissão de chamadas telefônicas. O termo IP (*Internet Protocol*), como não poderia deixar de ser, trás logo a ideia de Internet.

Este capítulo apresenta uma revisão geral da tecnologia Voip, incluindo um comparativo com a telefonia convencional, o protocolo de sinalização e os codecs mais utilizados.

2.1 Telefonia Convencional

O sistema telefônico convencional, ou telefonia comutada, é hoje a mais extensa e abrangente rede de comunicação no mundo. Este sistema permite fechar um canal de comunicação entre dois pontos dentre os bilhões de terminais que atualmente fazem parte desta rede.

A telefonia convencional utiliza a modulação de sinais elétricos ao longo de cabos para transmissão de voz, conforme figura 1.

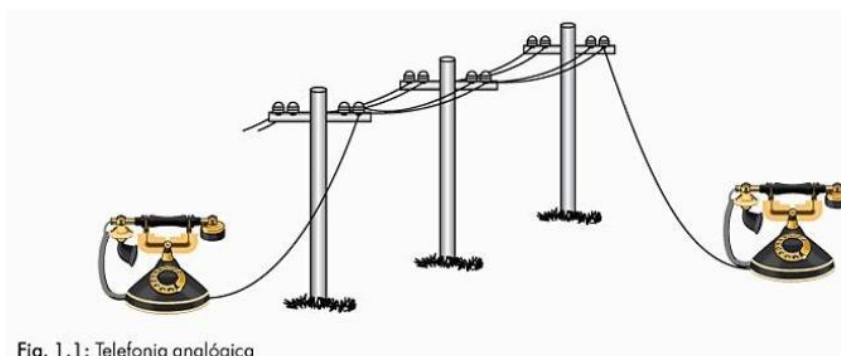


Fig. 1.1: Telefonia analógica

Figura 1 - Sistema telefônico (PETIT 2002)

Atualmente, na maioria dos países, o sistema telefônico é baseado em redes digitais, onde as linhas dos assinantes permanecem analógicas, porém o sinal é convertido de analógico para digital na primeira central telefônica onde a linha do usuário estiver conectada fisicamente. Geralmente o fluxo telefônico

de uma linha de assinante é convertido em um fluxo de bits de 64Kbps, utilizando o codec G.711.

Buscando otimizar a utilização dos meios de transmissão, diversas chamadas podem ser multiplexadas em um único meio físico através da técnica chamada de TDM (*time division multiplexing*). Nesta técnica, um mesmo meio de transmissão é ocupado por diversos canais de comunicação de forma alternada, onde cada canal de voz tem exatamente sua fração de tempo para utilizar o meio físico e permitindo assim o compartilhamento dos recursos por diversas chamadas simultâneas, conforme figura 2.

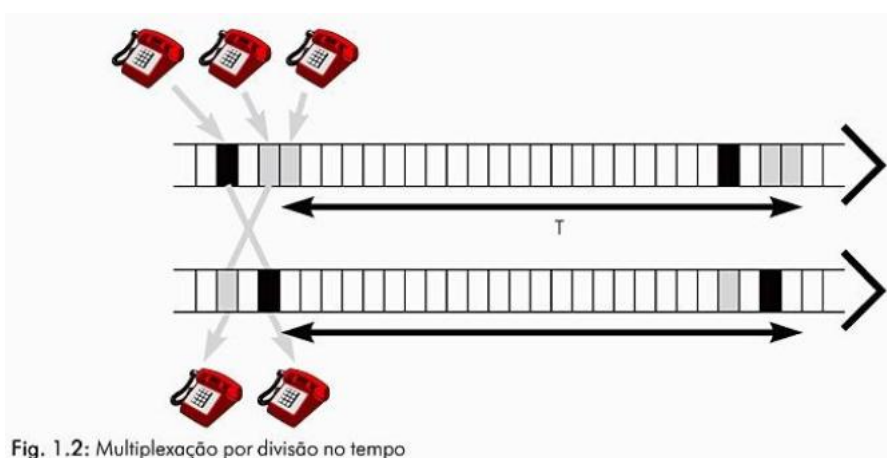


Fig. 1.2: Multiplexação por divisão no tempo

Figura 2 - Sistema digital (PETIT 2002)

Segundo HERSENT, GUIDE e PETIT (2002), normalmente cada participante de uma chamada telefônica fala por aproximadamente 35% do tempo, de modo que os outros 65% do tempo produziram pacotes de dados sem informação útil, ou seja, informação desnecessária. Para solucionar este problema, atualmente são usadas técnicas de detecção de voz, de modo que só seja produzido fluxo de dados quando uma das partes realmente estiver falando, conforme figura 3.



Figura 3 - Uso do canal de voz (PETIT 2002)

2.2 Vantagens e Desvantagens Telefonia Convencional x VoIP

Conforme TELECO (2005) é possível listar algumas vantagens do sistema telefônico convencional em relação ao sistema de voz sobre IP:

- Rede mais abrangente em todo o mundo;
- Alta confiabilidade e disponibilidade;
- Qualidade de comunicação é usada como padrão para os demais tipos de comunicação;
- O canal de voz é estabelecido de uma ponta à outra durante toda a conversação, garantindo a transmissão em ambas as direções;

Por outro lado, o sistema telefônico convencional também apresenta desvantagens:

- Canal de comunicação fica alocado mesmo durante períodos de silêncio;
- Serviço apresenta alto custo perante as operadoras de telefonia;
- Chamadas podem ser interceptadas por terceiros facilmente;

A tecnologia VoIP oferece algumas vantagens em relação ao sistema telefônico convencional:

- Redução de custos com chamadas telefônicas, principalmente com chamadas de longa distância;
- Convergência com outros serviços, utilizando redes e equipamentos já existentes;
- Mobilidade para acessar o serviço de qualquer lugar onde exista a estrutura necessária;
- Otimização e compartilhamento de recursos;

Desvantagens do VoIP em relação ao sistema telefônico convencional:

- Mais suscetível à falha devido à grande quantidade de variáveis envolvidas na comunicação;
- Sujeito à jitter, atraso e perda de pacotes, assim como qualquer pacote que trafega em redes de dados;
- Para que funcione, depende da disponibilidade de energia elétrica;

2.3 Protocolo de Sinalização SIP

Para o estabelecimento de uma chamada VoIP, é necessário o uso de um protocolo de sinalização.

As principais funções dos protocolos de sinalização são:

- Localizar um usuário ou uma estação específica;
- Fazer contato com este usuário ou estação para negociar o início de uma comunicação;
- Realizar troca de informações necessárias para início de sessão;
- Permite modificar os parâmetros de uma sessão que já esteja em andamento;
- Possibilita ainda prosseguir com o encerramento de sessões que estejam em curso.

Os principais protocolos de sinalização utilizados em VoIP são SIP, H323, IAX, Skinny/SCCP e o UNISTIM, sendo o protocolo SIP mais utilizado atualmente.

O SIP (*Session Initiation Protocol* ou Protocolo de Iniciação de Sessão), assim como diz seu nome, é um protocolo que permite que dois participantes iniciem, modifiquem e encerrem sessões de mídia entre si.

Conforme SINNREICH (2006), o protocolo é codificado em texto e seu desenvolvimento foi inspirado no HTTP, amplamente utilizado em aplicações web, tendo ainda relações com o SMTP, por sua vez é muito usado em serviços de e-mail. O SIP foi inicialmente definido através da RFC 3261, como parte da Conferência de Arquitetura Multimídia na Internet da IETF.

A tabela 1 mostra alguns exemplos de métodos oferecidos pelo protocolo SIP:

Método	Descrição
INVITE	Início de sessão
ACK	Reconhecimento ao INVITE
BYE	Fim de sessão
CANCEL	Cancelamento de sessão pendente
REGISTER	Registro de usuário
OPTIONS	Busca opções e compatibilidades
INFO	Transporta informações durante chamada
PRACK	Reconhecimento de resposta provisória
UPDATE	Atualiza informações de sessão
REFER	Transfere um usuário de um lado para outro
SUBSCRIBE	Solicita notificação de um evento
NOTIFY	Transporta notificação de um evento solicitado
MESSAGE	Transporta uma mensagem instantânea
PUBLISH	Atualiza notificação de presença num servidor

Tabela 1 - Métodos SIP (SINNREICH 2006)

Em SIP as respostas são numéricas. Muitos códigos de respostas foram baseados no HTTP, bem como novos códigos foram desenvolvidos. Códigos de resposta SIP são divididos em 6 classes, identificados pelo primeiro dígito do código, conforme a tabela 2:

Classe	Descrição
1xx	Provisória ou informativa – Solicitação em processo, ainda não concluída
2xx	Sucesso – Solicitação foi concluída com sucesso
3xx	Redirecionamento – Solicitação deve ser tentada em outro local
4xx	Erro de Cliente – Solicitação não foi concluída por causa de um erro na solicitação. Pode ser tentada novamente quando corrigida.
5xx	Erro de Servidor - Solicitação não foi concluída por causa de um erro no cliente. Pode ser tentada novamente em outro local.
6xx	Falha Global – Solicitação falhou e não deve ser tentada novamente

Tabela 2 - Classes de Código de Resposta SIP (SINNREICH 2006)

Os códigos de resposta são uma ilustração clara da relação do SIP com o HTTP, como por exemplo o erro código “404 Não encontrado”, que é um resquício das origens do SIP no HTTP.

2.4 Protocolo RTP

Com a popularização de diversos recursos multimídia disponíveis na Internet, surgiu a necessidade de criação de um protocolo de transporte projetado especificamente para tratar da característica de tempo real de algumas destas aplicações. Para isto foi desenvolvido o RTP (Real-time Transport Protocol). Conforme TANENBAUM (2003), este protocolo foi descrito inicialmente na RFC 1889 e pode ser utilizado no transporte de dados de som ou vídeo, sempre que a aplicação for sensível à perda ou atraso. O protocolo RTP é utilizado nos sistemas VoIP para o transporte dos pacotes de voz.

O RTP foi desenvolvido para permitir que os receptores possam suportar perda na ordem de sequência de pacotes e *jitter*, indesejavelmente inseridos com frequência em comunicações através de redes IP. O protocolo pode ser aplicado a qualquer tipo de fluxo de dados em tempo real, como vídeo e voz. O

RTP provém mecanismos de controle sobre o tipo do dado transportado, timestamps e número sequencial do pacote de dado.

De acordo com HERSENT, GUIDE e PETIT (2002), o RTP geralmente vem acompanhado do RTCP (Real Time Control Protocol), que é outro protocolo que complementa algumas funções que não existem no RTP, como por exemplo, informações sobre *jitter*, perda média de pacotes e também pode conter detalhes sobre a identidade dos envolvidos.

O RTP e o RTCP não exercem nenhuma influência sobre o funcionamento da rede de dados ao nível de bit. Os pacotes destes protocolos estão tão sujeitos à perda, colisão ou congestionamento quanto estão quaisquer outros pacotes que trafegam na rede. O RTP e RTCP exercem seu papel, de melhoria na comunicação de aplicações de tempo real, através de um controle apropriado no sequenciamento dos pacotes de dados, informações que permitem realizar compensação de *jitter*, através de criação de buffers de dados, e prover informações importantes sobre a rede de dados, dando condições para que medidas corretivas sejam tomadas.

O projeto do RTP e RTCP possibilita que estes sejam aplicados a qualquer camada de protocolos de rede, porém o comum é que sejam utilizados sobre o UDP, dada à própria natureza do mesmo, sendo amplamente utilizado e indicado para aplicações interativas e sensíveis à perdas.

2.4.1 Características do RTP

Cada pacote RTP transporta um número de sequência do pacote e sua marca temporal (timestamp). Estes atributos podem ser empregados na reconstrução do sincronismo dos pacotes de voz. Em aplicações de áudio, geralmente usa-se estas informações para determinar o instante de apresentação dos pacotes de forma correta. Esta operação é realizada através de um buffer de apresentação (ou de eliminação de variação de atraso), que tornará a reprodução do áudio mais natural, mesmo havendo variação no atraso da chegada dos pacotes.

Todo pacote RTP possui um *payload*, que é a informação em tempo real existente no conteúdo do pacote. O formato do *payload* é livre e deve ser definido pela aplicação em questão, caso o pacote não seja associado a um perfil de RTP já existente. Com o intuito de evitar a necessidade de abrir cada pacote RTP para saber o tipo do conteúdo existente, todo pacote RTP possui um cabeçalho de tipo de *payload*, onde os tipos mais comuns, chamados de “tipos de *payload* estáticos”, foram tabelados, conforme a tabela 3:

Tabela 1.1: Identificadores de *payload* estáticos

Tipo de <i>payload</i>	Codec	
0	PCM, μ law	ÁUDIO
8	PCM, A law	
9	G.722	
4	G.723	
15	G.728	
18	G.729	
34	H.263	VÍDEO
31	H.261	

Tabela 3 – Tipos de *payload* (PETIT 2002)

2.5 Qualidade de Serviço (QoS) em VoIP

As redes IP foram desenvolvidas para aplicações que não são sensíveis a tempo, como troca de e-mails e navegação em páginas web. A integração de novos recursos sensíveis a tempo, como é o VoIP, gera um grande problema e abre um amplo campo de estudo.

Aplicações não sensíveis ao tempo são aplicações cuja ordem de chegada dos pacotes e atrasos de transmissão dos dados em nada influencia o resultado final. Estas aplicações podem reordenar os pacotes na chegada e solicitar retransmissão dos dados extraviados.

As aplicações sensíveis ao tempo são aquelas que o atraso da chegada dos dados inviabiliza completamente a sua utilização. Assim, caso a informação não chegue dentro dos limites de tempo pré-estabelecidos, a mesma pode ser descartada. No caso do VoIP, quando um pacote de voz

chega depois do momento que este deveria ser reproduzido ele é descartado, pois a aplicação não irá mais utilizar o som, pois ficaria fora de contexto.

Os sistemas de dados representam parte vital para o funcionamento de quaisquer empresas e instituições. Para permitir a convergência de recursos e ainda assim colher um bom desempenho das estruturas, é necessário que estes estejam em sintonia no que diz respeito ao máximo aproveitamento dos recursos disponíveis e devido tratamento de cada tipo de dado. Isto é possível através da priorização de encaminhamento de pacotes oriundos de aplicações sensíveis ao tempo. Para isto foram desenvolvidos mecanismos de marcação de pacotes, possibilitando que os roteadores rapidamente leiam o campo indicativo de tipo de dado e assim os distribuam em filas com tratamentos diferenciados, tal técnica de otimização de transmissão é chamada de QoS (*Quality of Service*).

2.6 Elementos que afetam qualidade em VoIP

Garantir qualidade de chamadas telefônicas em sistemas de comutação de pacotes é um desafio inerente à própria aplicação, pois ao contrário do que encontramos no sistema telefônico, que é baseado em comutação de circuitos, não há qualquer garantia de que os dados transmitidos serão entregues ao destino dentro de um determinado padrão de qualidade.

No sistema telefônico convencional é estabelecido um circuito dedicado fim-a-fim durante toda a duração da comunicação, simplificando e permitindo a criação de controle dos parâmetros que afetam a qualidade da ligação. Na comutação de circuitos, o tempo que a informação leva para ser transmitida da origem e recebida no destino é constante, não havendo inversão na ordem dos dados, nem variação de tempo de chegada e com pouca ou nenhuma perda de dados.

Já no modelo de comutação baseado em pacotes, cada datagrama segue seu caminho independentemente dos demais, estando sujeitos às variações e indisponibilidades que possam surgir à frente de cada pacote.

Analisaremos a seguir quais parâmetros tem potencial de degradação para qualidade em VoIP e também veremos quais são os problemas mais comuns que podem ser enfrentados.

A seguir são apresentados os principais parâmetros de desempenho de redes de computadores que influenciam na QoS de serviços de VoIP.

2.6.1 Atraso

Atraso é o tempo que o dado, ou mensagem, leva para chegar da origem até ao seu destino. Frequentemente os equipamentos de rede que fazem roteamento de pacotes são as maiores fontes de atraso. Deve-se considerar também, apesar de pequeno, o atraso inserido pela propagação dos sinais através dos meios de transmissão.

Em redes LAN o atraso geralmente é desprezível, sendo mais perceptível quando existe passagem pela Internet, havendo relação evidente com o maior número de equipamentos por onde a informação deverá trafegar, e assim, maior atraso irá sofrer.

Segundo SINNREICH e JOHNSTON (2006), a recomendação G.114 do ITU é amplamente aceita na indústria das telecomunicações, onde temos que:

- Atrasos inferiores a 150ms permitem conversação com qualidade aceitável;
- Atrasos não maiores que 400ms oferecem comunicação com qualidade tolerável;
- Atrasos superiores a 400ms impedem a boa comunicação entre os envolvidos.

Um problema frequente decorrente do atraso em redes é o eco. De acordo com HERSENT, GUIDE e PETIT (2002), existem dois tipos de ecos, chamados de eco de locutor e eco de ouvinte, que são ilustrados nas figuras 4 e 5. O eco de locutor é aquele que o locutor escuta a sua própria voz com atraso. Geralmente torna-se perceptível quando o atraso atinge valores a partir de 50ms, devida à própria sensibilidade do ouvido humano.

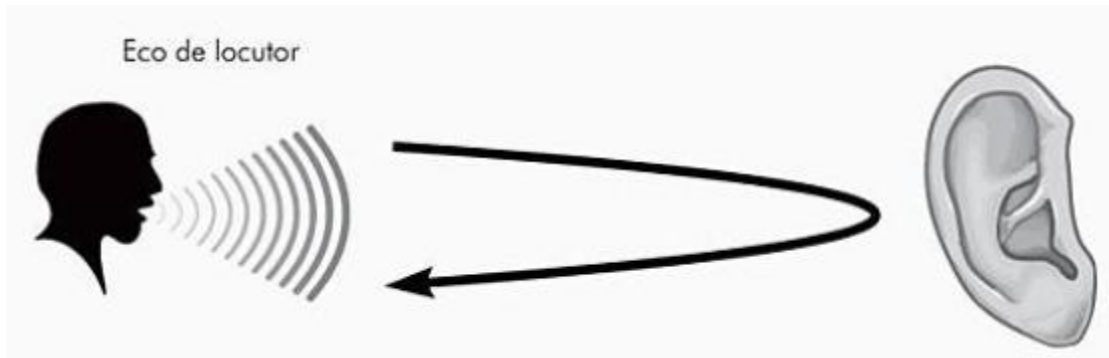


Figura 4 - Eco de locutor (PETIT 2002)

Eco de ouvinte é aquele em que o ouvinte escuta o locutor 2 vezes, sendo geralmente a primeira vez forte e nítida, seguida por uma repetição mais atenuada e com atraso:



Figura 5 - Eco de ouvinte (PETIT 2002)

O efeito de eco ocorre quando o som gerado por um dos participantes encontra novamente o circuito de transmissão ao ser reproduzido em uma das extremidades. Para que seja perceptível, o eco deve vir acompanhado de um atraso suficientemente grande ao ponto de separá-lo da cadência de fala da fonte que está produzindo o som que sofre o eco. Este efeito geralmente é criado em sistemas analógicos, frequentemente nas pontas envolvidas na comunicação ou mesmo em sistemas que fazem a codificação e de codificação do sinal analógico em sinal digital e vice-versa. O atraso criado pelas redes de roteamentos de dados apenas revela o eco existente, podendo tornar desconfortável a conversação.

Atualmente existem técnicas de detecção e cancelamento de eco que reduzem consideravelmente o efeito indesejado do eco. Geralmente os

canceladores de eco basicamente comparam o som transmitido ao som recebido, eliminando as frequências semelhantes o suficiente para serem caracterizadas como repetição umas das outras.

Outro sintoma inconveniente que costuma acompanhar o atraso em VoIP é a sobreposição de locutores. Ocorre quando o atraso na transmissão da voz de uma ponta para a outra atinge níveis tão altos que ambos os locutores tentam falar simultaneamente, pois cada um tem uma percepção diferente de quando o outro participante terminou de falar e assim encontram dificuldades para sincronizar a conversa e assim possam intercalar a vez de cada um deles se manifestar.

2.6.2 Jitter

A variação do atraso, também conhecida como *jitter*, é um dos aspectos relacionados ao VoIP que mais afeta seu desempenho.

No sistema telefônico convencional, os dados chegam ao seu destino na mesma sequência em que foram produzidos na origem. Um pacote precisa da mesma quantidade de tempo que o anterior e que o seguinte utilizou para chegar ao seu destino, ou seja, não há variação no atraso de chegada dos dados, ainda em outras palavras, não existe jitter. A seguir um exemplo de transmissão sem *jitter*.

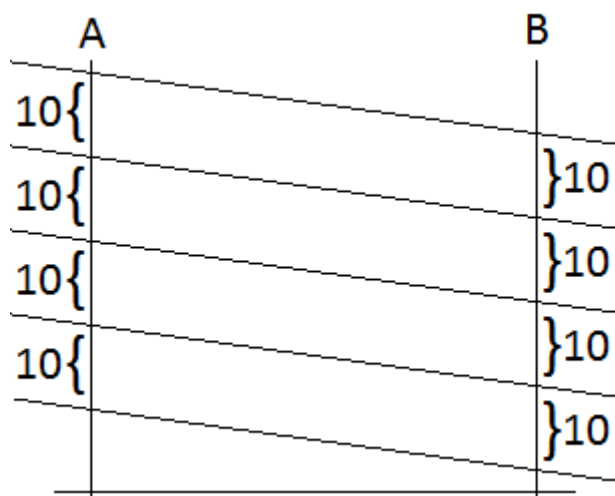


Figura 6 - Transmissão sem *jitter*

Já em sistemas baseados em comutação de pacotes, cada unidade de dado segue seu próprio caminho por toda a rede de computadores à frente, encontrando equipamentos com capacidades distintas, enlaces de dados com tecnologias diferentes, caminhos com indisponibilidades causando perdas de pacotes, etc. Conforme KUROSE e ROSS (2010), todas estas variáveis fazem com que os dados levem tempos distintos para cumprir seu trajeto da origem ao destino, chegando ao ponto de pacotes chegarem fora da sequência original ou apenas tarde demais para serem utilizados aonde seriam. A seguir um exemplo de transmissão com *jitter*:

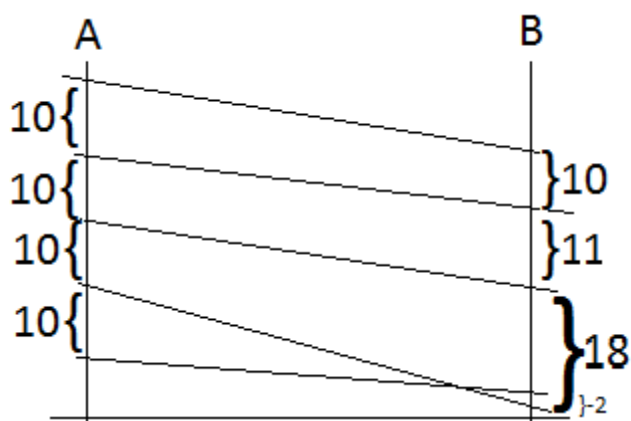


Figura 7 - Transmissão com *jitter*

Os efeitos da variação do atraso, suas causas e sugestões propostas para minimizar as suas perdas são estudadas na RFC 3393. Como visto anteriormente, em VoIP a solução para reduzir os impactos do *jitter* é o uso de um *buffer* de apresentação (ou também chamado de *buffer* de eliminação de *jitter*). Este *buffer* implementa uma fila de pacotes de voz a serem consumidos, disponibilizando assim um período de tempo para que dados fora de ordem sejam reorganizados temporalmente. Para VoIP, geralmente os *buffers* estocam algumas centenas de milissegundos de informação, permitindo apenas alguma recuperação de dados em casos de falhas.

2.6.3 Perda de Pacotes

Em VoIP, um pacote perdido representa a ausência de uma porção de milissegundos de áudio. Isto se deve ao fato de que em VoIP os pacotes de voz são transportados utilizando o protocolo UDP, que não oferece serviços de retransmissão.

Apesar de a aplicação apresentar sensibilidade ao tempo, o ouvido humano não demonstra a mesma sensibilidade ao enfrentar perdas de áudio na escala de milissegundos, desta forma, a perda de alguns pacotes de dados não afeta a inteligibilidade de uma chamada telefônica. Contudo, de acordo com KUMAR, KORPI e SENGODAN (2006), perdas de pacotes em sequência podem prejudicar a comunicação, uma vez que a ausência de sílabas ou palavras inteiras podem ser comprometer a compreensão das frases.

A voz humana codificada produz dados que apresentam algo grau de previsibilidade, uma vez que cada amostra de áudio apresenta pouca variação em relação à anterior. Desta forma, na ausência aleatória de alguns pacotes de dados ou extrapolando o atraso limite estabelecido, o sistema reconstrói os dados do pacote faltante através de técnicas de previsão de dados, quase sempre tornando a falha totalmente transparente para o usuário humano.

2.7 Codecs

Quando falamos, nossas cordas vocais vibram produzindo oscilações no ar em nossa volta. Estas vibrações se propagam no ar em todas as direções, chegando aos nossos ouvidos, onde temos uma membrana chamada tímpano. Esta membrana também vibra de acordo com as oscilações do ar, movimentando assim pequenos ossos que temos em nossos ouvidos. Estes ossos produzem estímulos nas células sensoriais, que possuem minúsculos pelos que produzem sinais elétricos que são interpretados por nosso cérebro como sons.

Nas redes de dados podemos transportar somente sinais digitais em forma de pacotes. Para transformar a voz humana, que conforme explicado é originalmente analógica, através de redes digitais, precisamos convertê-la de analógica para digital. Neste processo que são empregados os codecs, sendo responsáveis pela transformação do sinal analógico em sinal digital. Os codecs também são responsáveis pelo processo inverso, convertendo sinais digitais novamente em analógicos para que possam ser interpretados por nossos ouvidos, conforme esquema proposto por KUMAR, KORPI e SENGODAN (2006) na figura 7:

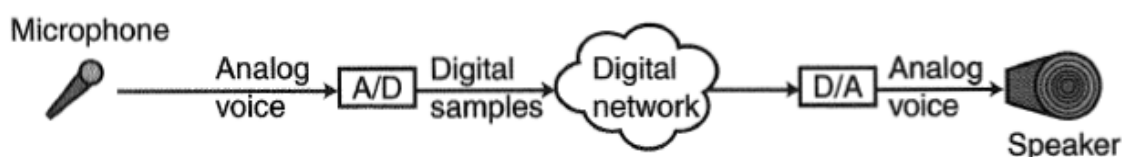


Figura 8 - Codificação de som analógico em digital (KUMAR 2006)

Os codecs ainda desempenham o papel de otimizar o volume de bits gerado ao digitar um determinado som, buscando sempre produzir o menor fluxo de bits por segundo possível, resultando em transmissão mais eficiente, exemplificado pelo esquema apresentado na figura 8:

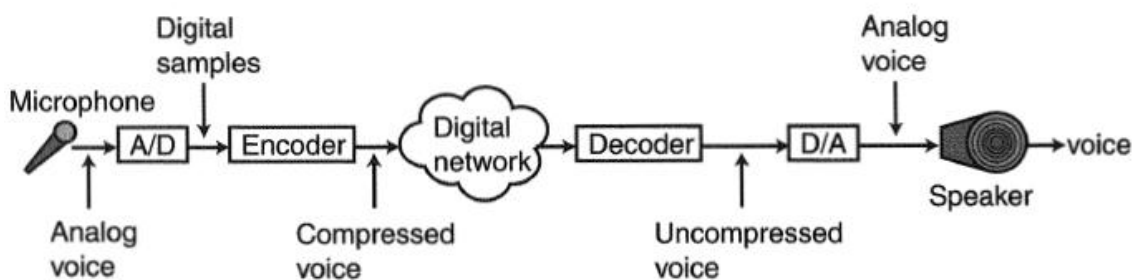


Figura 9 - Codificação e compressão de som analógico em digital (KUMAR 2006)

Lista dos CODECs mais utilizados e suas principais características são resumidas na tabela 4:

Recomendação ITU-T	Algoritmo	Bit rate (kbit/s)	Atraso típico fim-a-fim (ms)	Qualidade de Voz
G.711	PCM	48; 56; 64	<<1	Excelente
G.722	Sub-banda ADPCM	48; 56; 64	<<2	Boa
G.723.1	ACELPMP-MLQ	5,36,3	67-97	Razoável Boa
G.726	ADPCM	16; 24; 32; 40	60	Boa (40) Razoável (24)
G.727	AEDPCM	16; 24; 32; 40	60	Boa (40) Razoável (24)
G.728	LD-CELP	16	<<2	Boa
G.729	CS-ACELP	8	25-35	Boa
G.729 Anexo A	CS-ACELP	8	25-35	Boa

Tabela 4 - Lista de CODECs mais utilizados (TELECO 2012)

2.7.1 G.711

Este codec foi lançado em 1965 e é considerado o avô de todos os codecs digitais de áudio. O ouvido humano é mais sensível a sinais de baixa amplitude e por isto este codec utiliza uma escala semilogarítmica, onde existem mais passos de quantificação nas baixas amplitudes, tornando estes sinais mais precisos e assim aumentando a qualidade do áudio aos nossos ouvidos. Utiliza técnica chamada de PCM compandido (*Companded Pulse Code Modulation*). Existem duas escalas de PCM, sendo a escala *A-law* utilizada na Europa e a escala *m-law* aplicada nos Estados Unidos, havendo pouca diferença entre elas. O G.711 ainda é amplamente utilizado em redes ISDN e em *backbones* de telefonia digital.

O áudio codificado em G.711 é amostrado 8 mil vezes por segundo, podendo capturar sons de até 4kHz. Como cada amostra é composta por 8 bits, é produzido um fluxo de dados de 64kbps. Observamos que, não por coincidência, o G.711 opera exatamente na frequência da telefonia convencional, isto porque este codec foi desenvolvido exatamente para este propósito, para compatibilização da telefonia analógica para telefonia digital.

2.7.2 G.722

Ainda que o G.711 apresente alta inteligibilidade da voz transmitida, as frequências superiores a 4kHz são eliminadas, fazendo com que o som torne-se mais grave e distorcendo o áudio original. O codec G.722 é aplicado em situações onde é necessária maior fidelidade do áudio digitalizado, podendo codificar sons de até 7kHz, ainda permitindo taxas de bit inferiores ao G.711 e havendo oscilação na taxa de bit entre 48, 56 ou 64kbps. Apesar da maior qualidade de som, este codec ainda é ineficiente para aplicações musicais, sendo indicado somente para conversação.

A União Internacional das Telecomunicações, em inglês ITU (*International Telecommunications Union*), está trabalhando no sucessor do G.722, que apresentará a mesma qualidade sonora que este, porém a uma taxa de 16 e 32kbps.

2.7.3 G.723.1

Este codec foi desenvolvido com o esforço mútuo de um consórcio de empresas e instituições, existindo registro de patente sobre esta tecnologia, onde os proprietários desta patente exercem o seu direito, muitas vezes questionado, de cobrar pela utilização do codec em aplicações desenvolvidas por terceiros.

O codec permite a comunicação de voz à taxa de apenas 5,3kbps ou 6,4kbps. O modo de operação pode modificar-se dinamicamente a cada quadro, sendo utilizada a técnica ACELP (*Algebraic-Code-Excited Linear Prediction*) no modo de menor taxa de bit e a técnica MP-MLQ (*Multipulse-Maximum Likelihood Quantization*) no modo de maior taxa.

O G.723.1 possui comprimento de quadro de 30ms e necessita de um esquema de previsão de 7,5ms.

2.7.4 G.726

Foi lançado em 1990 e utiliza a técnica de codificação ADPCM (*Adaptive Differential Pulse-Code Modulation*) para codificar um *stream* de bits G.711 em palavras de dois, três ou quatro bits, resultando taxas de transmissão de 16, 24, 32 ou 40kbps.

2.7.5 G.728

O G.728 foi criado especialmente para transmissão de voz humana. Este codec utiliza a técnica LD-CELP (*Low-Delay, Code-Excited Linear Prediction*) e funciona comparando o sinal a ser transmitido com um conjunto de modelos de forma de onda pré-definidos, transmitindo apenas a referência para o modelo mais semelhante ao sinal original e mais algumas informações essenciais para a reconstrução do áudio, reduzindo assim muito a quantidade de informação que precisa ser transmitida.

2.7.6 G.729

Assim como o G.723.1, o G.729 é protegido por uma patente de utilização, cabendo pagamento de *royalties* aos seus detentores para o uso da tecnologia. Este codec utiliza uma técnica de codificação conhecida como CS-ACELP (*Conjugate Structure, Algebraic-Code-Excited Linear Prediction*). O G.729 produz frames de 80 bits codificando 10ms de som à taxa de 8kbps.

2.8 Técnicas de Avaliação de Qualidade em VoIP

Foram desenvolvidos modelos de avaliação da qualidade do áudio transmitido e recebido em redes de comunicação de voz. Estes modelos visam disponibilizar métricas para comparação da qualidade obtida em redes e sistemas diferentes, utilizando codecs e tecnologias distintas, desta forma possibilitando mensurar a satisfação dos usuários e assim indicar quais técnicas são mais adequadas a determinados cenários.

Entre os diversos modelos existentes, os mais conhecidos e utilizados são:

- MOS (*Mean Opinion Score*), publicado por recomendação da ITU (P.800 de 1996)
- E-model, publicado por recomendação da ITU (G.107 de 2005)
- PSQM (*Perceptual Speech Quality Measurement*), publicado por recomendação da ITU (P.861 de 1996)
- PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*), esta técnica é derivada da anterior e foi publicada por recomendação da ITU (P.862 de 2001)

Para avaliar a qualidade de áudio apresentada pelo cenário em questão, as técnicas citadas podem utilizar desde equações matemáticas até mesmo métricas totalmente abertas à subjetividade, como a opinião dos usuários.

A seguir serão detalhados os modelos MOS e E-model, pois é notável que estas duas técnicas são as mais aceitas atualmente.

2.8.1 MOS

De acordo com HERSENT, GUIDE e PETIT (2002), este modelo de avaliação é frequentemente chamado de teste subjetivo de classificação de categoria absoluta. A avaliação do áudio utilizando este modelo consiste na exposição de trechos de áudio a grupos de voluntários. Estes grupos devem representar uma amostra real de uma população alvo que se deseja submeter à análise.

O estudo é feito de modo que cada participante registre sua nota atribuída à inteligibilidade do áudio recebido, sem que sejam realizadas comparações entre amostras de áudio ou que existam outras referências. Os participantes do estudo expõem sua opinião quanto à qualidade do áudio, seguindo a tabela de pontuação a seguir:

Excelente	5
Boa	4
Regular	3
Insatisfatória	2
Ruim	1

Tabela 5 - Pontuação MOS (PETIT 2002)

O resultado final do experimento é obtido através do cálculo da média aritmética dos valores atribuídos por cada participante, produzindo assim a nota final na escala MOS.

É possível afirmar que a pontuação MOS cresce conforme aumenta a taxa de transmissão de bits por segundo da técnica de codificação utilizada. Esta relação tem a ver com a maior fidelidade de som obtido ao codificar e recuperar sons que foram processados por codecs que não fazem compressão de dados para reduzir o tráfego de bits., isto porque a maior parte das técnicas de compressão insere distorção no áudio final, afetando a qualidade observada pelo usuário do sistema. Esta relação fica evidente na figura a seguir:

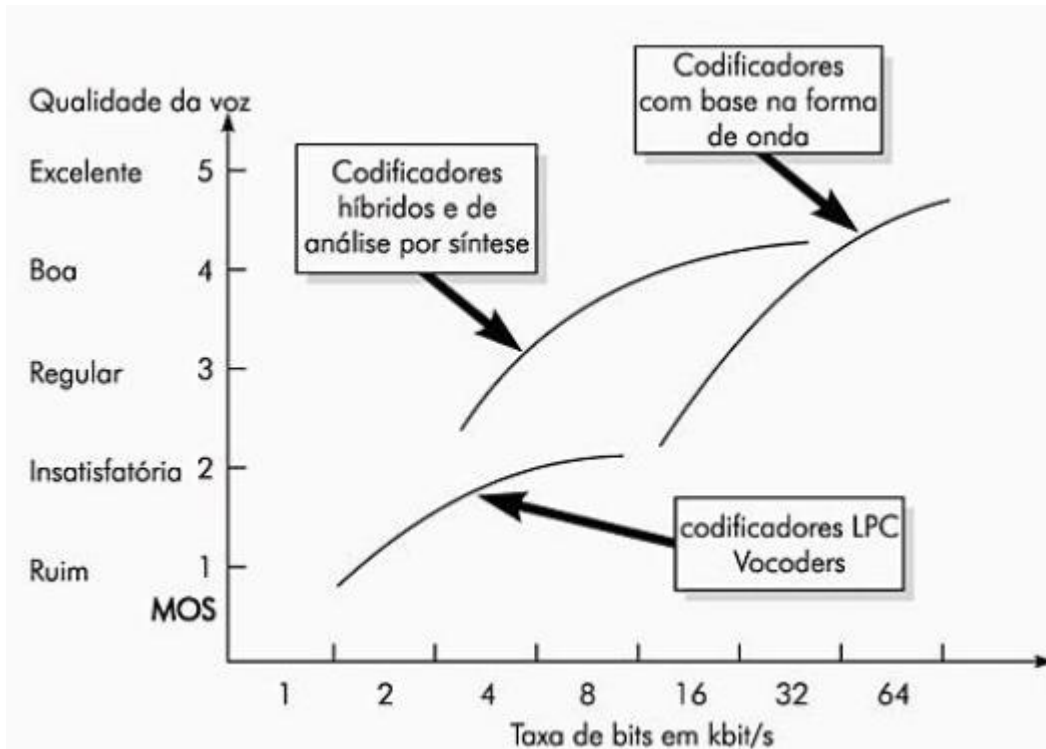


Figura 10 - Relação “Pontuação MOS x Taxa de bits por segundo” (PETIT 2002)

Apresentando dados mais específicos, a tabela 6 apresenta os codecs mais populares e a média MOS recebida por eles em estudos realizados:

Padrão	G.711	G.726 ou G.721	G.728	G.729	G.723.1
Data de aprovação	1972	1990 (1984)	1992	1995	1995
Taxa de transmissão de bits	64	16/24/32/40	16	8	6,3-5,3
Tipo de codificador	Com base em forma de onda	Com base em forma de onda: ADPCM	ABS: LD-CELP	ABS: CS-ACELP	ABS: MP-MLQ, CS-ACELP
Qualidade da voz (resultado MOS)	4,2	2 / 3,2 / 4 / 4,2 4,2	4,0	4,0	3,9 / 3,7

Tabela 6 - Codecs x Pontuação MOS (PETIT)

Conforme mencionado anteriormente, analisando a tabela é possível afirmar que a pontuação MOS cresce conforme a taxa de bits é ampliada, ainda que seja utilizado o mesmo codec. Todavia, podemos observar pontuações MOS iguais ou muito semelhantes entre codecs que apresentam taxas de bits bem distintas, indicando maior eficiência por aqueles codecs que

apresentam a mesma qualidade que outros, ainda que utilizem muito menos recurso de rede.

2.8.2 E-Model

De acordo com a própria publicação da recomendação ITU-T G.107 (2005), o e-model é um modelo computacional que calcula o nível de satisfação dos usuários de um sistema de comunicação de voz, através do levantamento dos valores das variáveis que afetam a qualidade da comunicação, relacionando os dados obtidos numa equação proposta pelo modelo e assim produzindo uma nota de 0 a 100, chamada de fator R , que deve refletir a qualidade observada pelos usuários do sistema.

O fator R pode ser obtido através do cálculo:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$$

Onde temos que:

R_0 : representa a relação sinal-ruído base, incluindo fontes de ruído como ruído de circuito e ruído ambiente;

I_s : relaciona a combinação de todas as interferências que atingem simultaneamente o sinal de voz;

I_d : refere-se aos atrasos ocorridos na transmissão de uma ponta até outra;

I_e : diz respeito às distorções causadas por codecs que produzem baixas taxas de bits;

A : esta variável permite aperfeiçoar a nota final quando algum mecanismo de compensação é utilizado.

A figura 9 apresenta uma relação aproximada entre as pontuações utilizadas no MOS e no E-model:

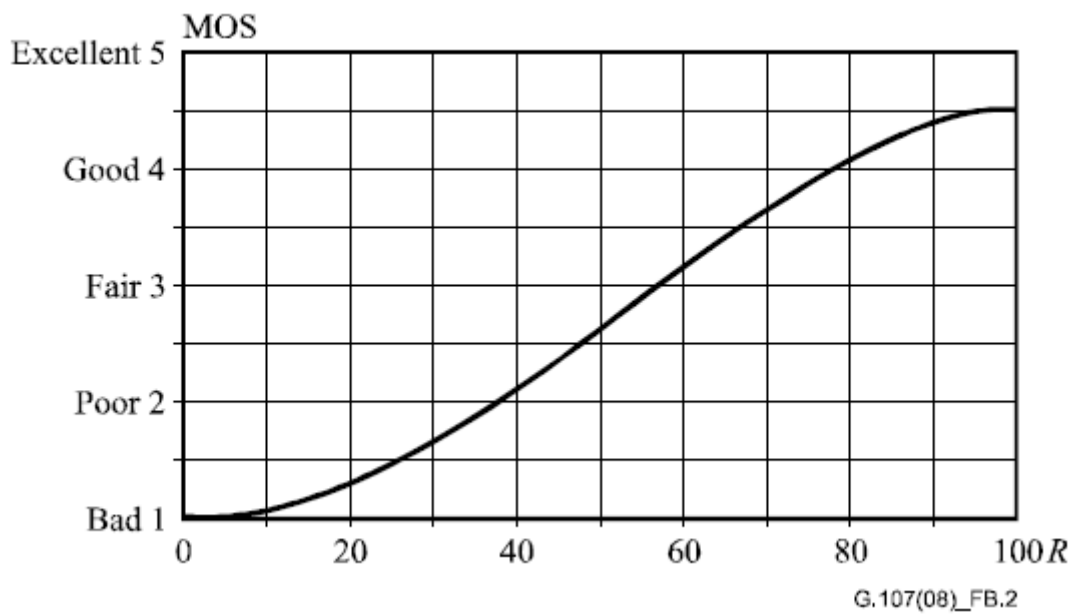


Figura 11 - Relação entre MOS e E-model (ITU-T G.107, 2005)

O e-model dispensa a participação de um número relativamente alto de participantes para produção do estudo, sendo necessários apenas os especialistas na técnica para desenvolvimento dos resultados. Em contraponto, as variáveis necessárias não podem ser obtidas de forma trivial, demandando mão de obra especializada para tal.

3 Redes sem Fio e Metodologias de Implantação

Conforme TANENBAUM (2003), a comunicação sem fio não é uma invenção recente. O telégrafo sem fio foi apresentado em 1901 pelo físico Guglielmo Marconi. O aparelho foi instalado em um navio e utilizava código Morse para comunicar-se com o litoral. Atualmente, os sistemas digitais utilizam o mesmo princípio básico, onde no lugar dos pontos e traços do código Morse é utilizado 1s e 0s.

Atualmente as redes sem fio podem ser separadas em três grandes categorias:

- Interconexão de sistemas: computadores em geral possuem diversos periféricos, como impressoras, scanners, mouse, teclado e etc. Estes dispositivos precisam ser conectados ao computador para permitir sua utilização, o que geralmente é feito através de cabos que devem ser devidamente instalados e configurados no sistema. Buscando eliminar a necessidade de conexões físicas entre o computador e seus periféricos, foi desenvolvida a tecnologia Bluetooth, permitindo a comunicação sem fio à curta distância entre os mais variados tipos de equipamentos compatíveis com a tecnologia. Geralmente esta tecnologia opera no modo mestre e escravo, onde o computador, que é a peça central, opera como mestre, ditando ao escravo quando e por quanto tempo pode transmitir, qual frequência utilizar e qual endereço deve alocar.

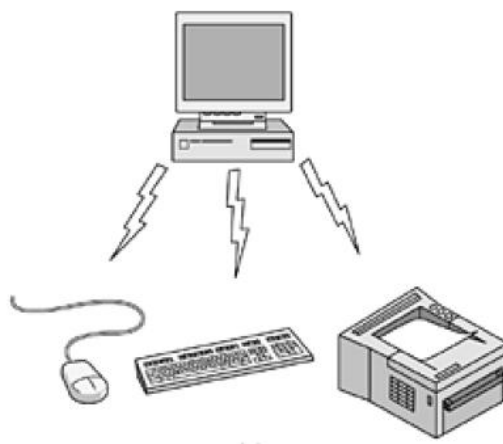


Figura 12 - Topologia Bluetooth (TANENBAUM, 2003)

- Redes LAN sem fio: geralmente são extensões de redes LAN convencionais cabeadas, onde são instalados os dispositivos necessários para transformar em ondas de rádio os sinais elétricos dos cabos. Para usufruir desta tecnologia os computadores devem estar equipados com uma interface de rede composta por um modem de rádio e uma antena, através dos quais se utilizará para comunicar-se com outros dispositivos. Geralmente os computadores se comunicam com um dispositivo central chamado de *Access Point*, que faz intermédio da comunicação durante todo o tempo entre os clientes conectados. Se as estações clientes estiverem próximas o bastante, é possível realizar a comunicação entre elas sem depender de um *Access Point*, através de um acesso não hierárquico. Entre as LANs sem fio, destaca-se o padrão IEEE 802.11, que vem apresentando grande crescimento em lares, escritórios e nos mais variados tipos de ambientes.

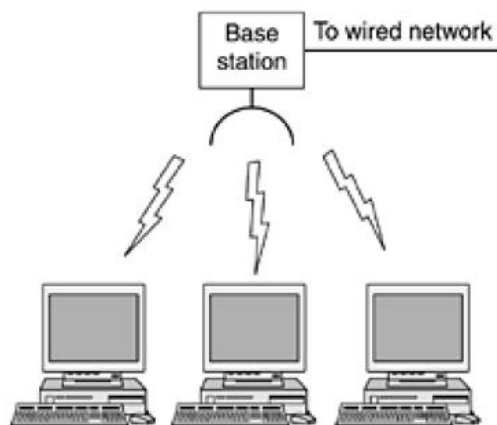


Figura 13 - Topologia LAN sem fio (TANEMBAUM, 2003)

- Redes sem fio WAN: As redes celulares aparecem aqui e entram como solução para comunicação sem fio a longas distâncias, ainda que apresentem velocidades bastante inferiores às redes LAN. Enquanto redes LAN oferecem velocidades acima de 150Mbps a algumas dezenas de metros, as redes WAN atingem poucos Mega bits por segundo, porém com alcance de quilômetros. Originalmente as redes celulares eram dedicadas ao tráfego de voz, porém atualmente já se encontram preparadas para o tráfego de voz e dados, possibilitando assim sua utilização como rede de transmissão de dados entre computadores.

Devido ao escopo reservado ao projeto, neste trabalho aprofundaremos somente a análise às redes LAN sem fio, mais precisamente trataremos apenas da tecnologia IEEE 802.11, por ser o padrão mais utilizado atualmente em todo o mundo.

3.1 IEEE 802.11

O IEEE 802.11 é um padrão que define redes WLAN (*Wireless Local Area Network*) e sua primeira versão foi lançada em 1997 pela entidade IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*). Existem diversas variações deste padrão, onde os mais conhecidos que temos são o IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g e 802.11n. Tanto o padrão IEEE 802.11 bem como suas variações são conhecidos como *Wi-Fi*, porém oficialmente esta é uma marca registrada da *Wi-Fi Alliance*, que é um conjunto de fabricantes autorizados a certificar equipamentos que desejam receber o selo de *Wi-Fi*. Este selo foi desenvolvido para garantir que todos os equipamentos que o possuem são plenamente compatíveis entre si e somente é emitido após criteriosos testes realizados por uma das entidades certificadoras, por este motivo nem todos os equipamentos que afirmam contar com a tecnologia IEEE 802.11 recebem oficialmente o selo de *Wi-Fi*.

A tabela 7 apresenta as principais diferenças entre cada variação do padrão IEEE 802.11:

Padrão	Faixa de Frequência	Taxa de transferência
802.11b	2,4 – 2,485 GHz	Até 11 Mbps
802.111	5,1 – 5,8 GHz	Até 54 Mbps
802.11g	2,4 – 2,485 GHz	Até 54 Mbps
802.11n	2,4 – 5 GHz	Até 300 Mbps

Tabela 7 - Diferenças entre padrões IEEE 802.11

3.1.1 Camadas IEEE 802.11

Conforme TORRES (2001), apesar da estrutura do Wi-Fi ser baseada no modelo OSI, a camada 2, originalmente chamada de “Link de Dados”, no Wi-Fi precisou ser dividida em duas partes conhecidas como “Controle de Link Lógico” e “Controle de Acesso ao Meio”.

As funções destas camadas IEEE 802.11 se encontram detalhadas abaixo:

- Controle de Link Lógico (LLC): Esta camada permite diversificar os protocolos que serão utilizados na camada Rede, que está situada imediatamente acima dela. O LLC adiciona aos dados informações sobre o protocolo responsável pelos mesmos, de modo que na máquina de destino a camada LLC presente poderá encaminhar os dados ao protocolo de alto nível correto e possibilitando assim a leitura adequada dos dados. Caso não existisse esta camada, estaríamos limitados a apenas um protocolo na camada Rede.
- Controle de Acesso ao Meio (MAC): Nesta camada podemos observar os endereços MAC, que são sequências únicas de 12 algarismos hexadecimais que especificam exatamente o dispositivo associado ao pacote de dado. Este endereço é fisicamente gravado no dispositivo de acesso à rede no momento de sua fabricação. Os 6 primeiros caracteres do endereço MAC definem o fabricante do dispositivo e os demais dígitos identificam uma única placa de rede. A camada de controle de acesso ao meio adiciona a todo quadro de dado transmitido o endereço MAC de origem e destino, assim somente a interface de rede endereçada irá capturar o dado em questão. Esta camada também verifica se o meio de transmissão está livre através do protocolo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). Este protocolo opera ouvindo o meio de transmissão antes de iniciar uma comunicação. Caso o meio esteja disponível, emite uma mensagem de controle e inicia a transmissão assim que o destino responder que está apto a iniciar a comunicação. Em caso de haver colisão de mensagens de controle, ambos os emissores aguardam um tempo aleatório e tentam novamente, até que consigam realizar suas transmissões.

- Física: Esta camada especifica exatamente as frequências de transmissão e formato das ondas transmitidas que carregam os dados através do ar. Existem diversas técnicas de transmissão, dentre as quais podemos destacar:

- FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) que divide o espectro de frequências em 79 canais, onde a cada 100ms aleatória e coordenadamente todos os dispositivos da rede em questão passam a usar outro canal destes 79, impedindo que dispositivos de fora da rede acompanhem as transmissões sem estar devidamente conectados à rede.

- DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) é semelhante à anterior, porém neste método a troca de canais é sempre sequencial.

- OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) e HR-DSSS (*High Rate Direct Sequence Spread Spectrum*) permitem velocidades superiores do que nas técnicas observadas anteriormente devido à evolução existente em seu desenvolvimento, veremos mais detalhadamente em breve.

3.1.2 Topologias de redes IEEE 802.11

De acordo com TORRES (2001), normalmente as redes sem fio aderentes ao padrão IEEE 802.11 podem ser montadas de três formas distintas.

- Áreas de Serviço Estendidas (ESS): são espalhadas estações bases por toda a região que se deseja oferecer o acesso à rede sem fio, mantendo pelo menos 10% de sobreposição de área de alcance do sinal de cada estação base, de modo a garantir que um cliente nunca fique fora do alcance de pelo menos uma estação base. O usuário pode se mover dentro da região de cobertura, inclusive passando da área de cobertura de uma estação para a outra e sem qualquer prejuízo na comunicação.

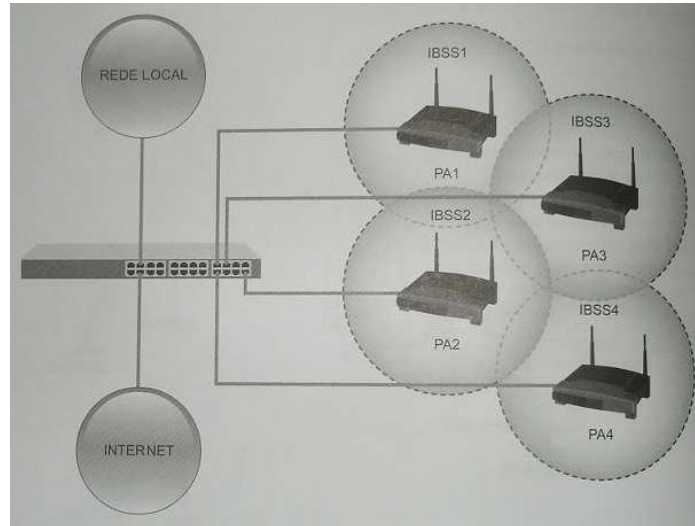


Figura 14 - Topologia ESS (TORRES, 2009)

- *Basic Service Set (BSS)*: Trata-se de um cenário semelhante ao anterior, porém com a existência de uma única estação base que provém acesso a todos os clientes da rede, fazendo ainda a gestão da autenticação e segurança de rede, também é nesta estação base que geralmente encontra-se o link para prover acesso às redes externas como é a Internet.



Figura 15 - Topologia BSS (TORRES, 2009)

- *Independent Basic Service Set (IBSS)*: também conhecida como rede *Ad Hoc*, dispensa a existência de estações bases, pois cada hospedeiro comunica-se diretamente com os demais integrantes da rede que estejam ao

seu alcance, bastando que para isto cada um deles conte com uma interface de rede adequada. É pouco utilizado e apresenta baixo desempenho de alcance, pois a comunicação só é possível entre dois participantes que estejam na zona de alcance um do outro.

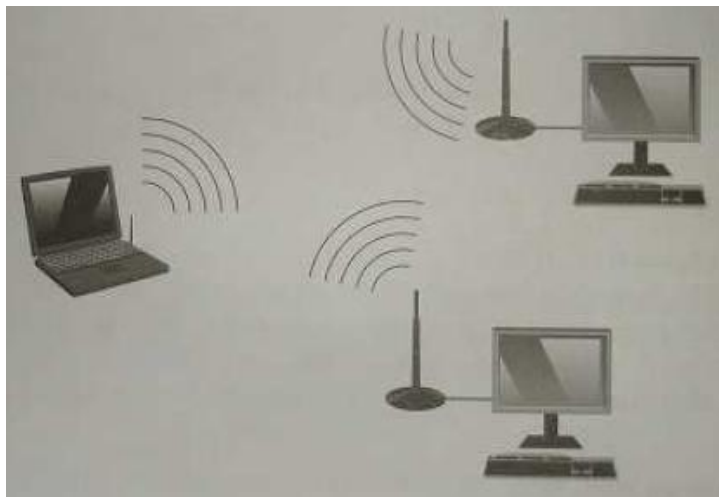


Figura 16 - Topologia IBSS (TORRES, 2009)

3.1.3 Segurança em redes IEEE 802.11

Como em qualquer outra tecnologia de transmissão sem fio, a segurança é uma antiga preocupação que deve receber a devida atenção por usuários e projetistas de redes sem fio. Tendo o espaço livre como meio de transmissão das ondas de rádio, é impossível impedir que qualquer indivíduo tenha contato com as ondas eletromagnéticas que transportam a informação. Deste modo, são necessárias técnicas de proteção das transmissões para evitar que dispositivos não autorizados realizem interceptações. Veremos as técnicas mais utilizadas atualmente.

3.1.3.1 WEP (Wired Equivalent Privacy)

Esta técnica foi desenvolvida com o objetivo de oferecer às redes sem fio o mesmo tipo de segurança que está disponível nas redes com fio. A WEP

fornece serviço de criptografia de dados e autenticação entre dispositivos clientes e um ponto de acesso sem fio, para isto é empregado um esquema de chave simétrica que é compartilhada entre o ponto de acesso e cada um de seus clientes. A comunicação tem início quando um cliente solicita entrada em um ponto de acesso. O ponto de acesso manda ao cliente um número aleatório de 128 bytes. O cliente deve criptografar o número recebido através de uma chave simétrica secreta de 40 bits que será compartilhada com o ponto de acesso. Então o ponto de acesso decriptografa o número aleatório do cliente em questão utilizando a chave compartilhada. Se o número decriptografado estiver de acordo com o número originalmente encaminhado pelo ponto de acesso, é considerado que o cliente está OK e a autenticação é concedida. A criptografia segue por toda comunicação, onde a cada quadro transmitido é adicionado um vetor de inicialização, que nada mais é do que uma sequência aleatória de 24 bits que é aplicada à chave de 40 bits, totalizando 64 bits, e assim progressivamente promovendo a substituição da chave de criptografia a cada quadro transmitido. No algoritmo de criptografia é utilizado ainda o CRC da carga útil de dados de cada pacote, tudo isto produzindo uma chave de criptografia complexa o suficiente para evitar ataques na maioria das situações. Conforme ROSS e KUROSE (2010), a figura abaixo ilustra melhor a técnica:

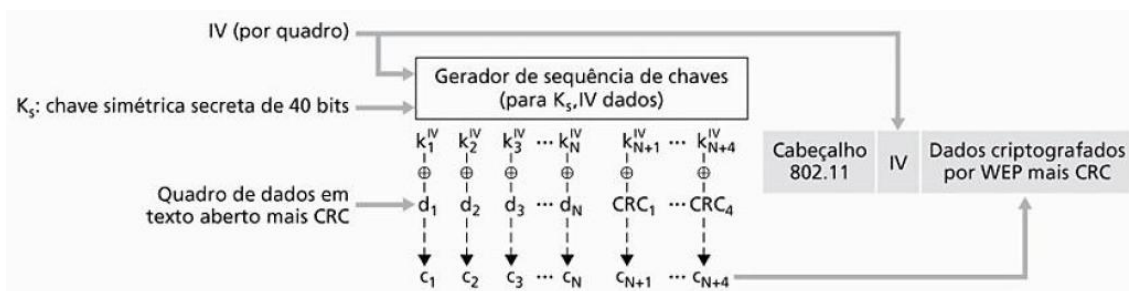


Figura 17 - Criptografia WEP (ROSS E KUROSE, 2010)

3.1.3.2 WPA (Wi-Fi Protected Access)

Buscando aprimorar a segurança oferecida pela técnica WEP, a Wi-Fi Alliance desenvolveu o protocolo WPA, sendo este publicado em 2003. A

técnica também é conhecida como WEP2 ou TKIP (*Temporal Key Integrity Protocol*).

O WPA conta com um vetor de inicialização de 48 bits, contra 24 bits do WEP. Isto por si só já aumenta o nível de segurança, porém ainda existem outras melhorias no algoritmo que produz a chave criptográfica. No WPA a chave é um resultado do processamento do vetor de inicialização, chave criptográfica e MAC do dispositivo transmissor. Esta saída ainda é reprocessada com outros 16 bits fornecidos por um gerador de seqüências e assim produzindo uma chave final de 104 bits. Vale observar que no protocolo WEP, uma parte da chave de criptografia é trocada a cada pacote, porém no WPA a chave é 100% recalculada a cada quadro transmitido.

O WPA conta ainda com técnicas de detecção e proteção de integridade dos pacotes, evitando que dados sejam alterados, corrompidos ou reencaminhados por terceiros. Abaixo segue ilustração do cálculo da chave WPA:

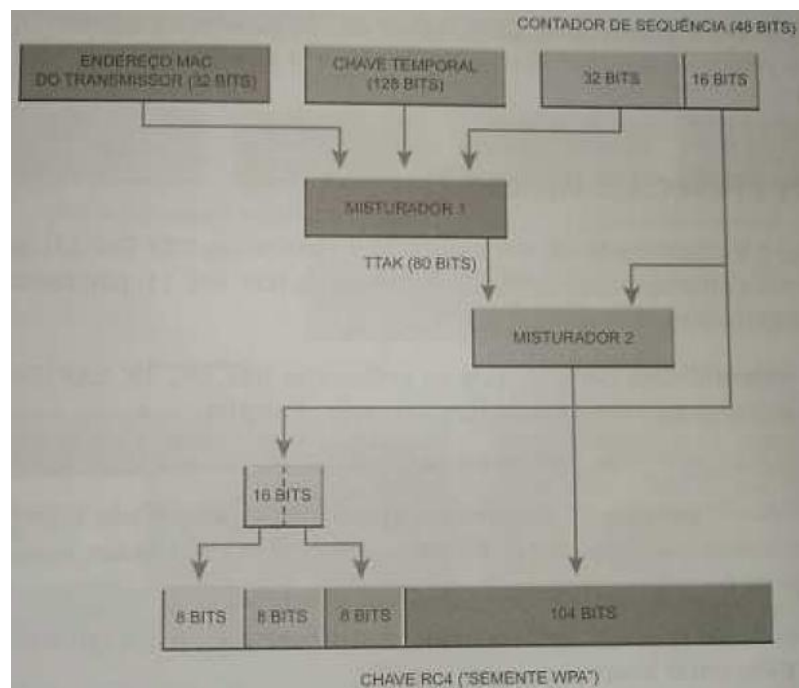


Figura 18 - Funcionamento do protocolo TKIP. (TORRES, 2009)

Diante da semelhança entre o WEP e o WPA, basta uma atualização de software nos dispositivos de rede compatíveis com WEP para que passem a aceitar também o protocolo WPA.

3.1.3.3 WPA2 (Wi-Fi Protected Access II)

Apesar de todo o investimento realizado no desenvolvimento do WPA, este protocolo ainda apresenta vulnerabilidades e foi mostrado que pode ser quebrado. Já em 2004 foi lançado o padrão IEEE 802.11i como o protocolo de segurança que até então cobre todas as falhas conhecidas das técnicas até então utilizadas.

O WPA2 emprega o uso do TKIP em conjunto com AES (*Advanced Encryption Standard*), produzindo chaves compartilhadas de 256 bits que são conhecidas pelo cliente e ponto de acesso. A técnica AES exige grande poder computacional dos dispositivos de rede envolvidos na comunicação, assim sendo, os equipamentos compatíveis com a tecnologia devem ser projetados prevendo tal utilização.

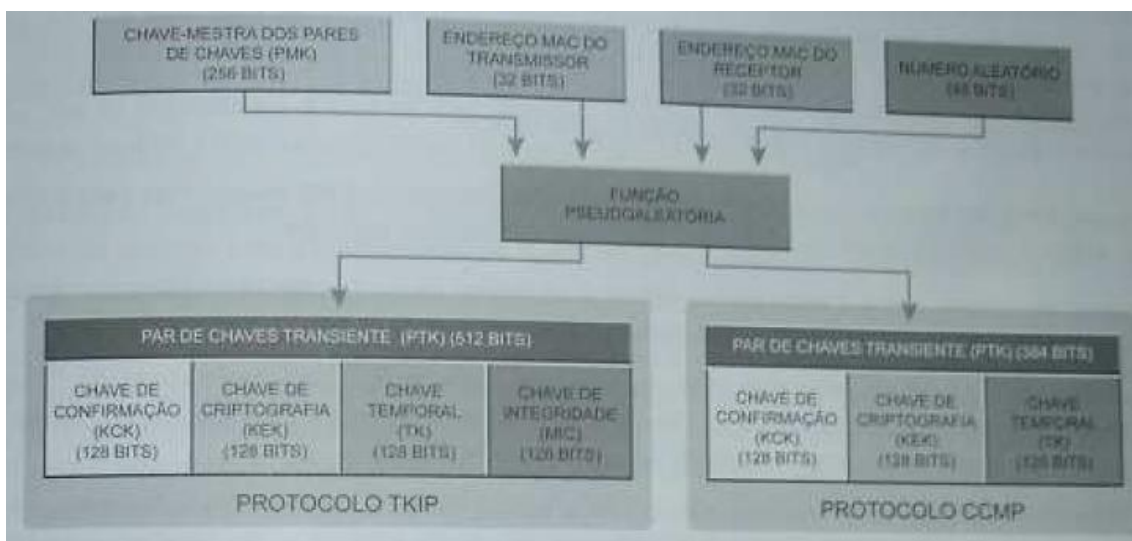


Figura 19 - Criação dos pares de chaves. (TORRES, 2009)

3.2 Metodologias de Projeto de Redes sem Fio

A grande maioria das redes sem fio em operação não recebe a devida atenção e cuidado no momento da especificação e implantação dos

equipamentos, resultando em redes pouco eficientes e frequentemente com problemas de funcionamento.

Nesta seção são apresentados alguns estudos acadêmicos à cerca do assunto aqui tratado, expondo as técnicas utilizadas e apresentando os passos envolvidos durante o processo.

3.2.1 Metodologia Proposta por Mattos (2006)

Em 2006 foi publicada, por Guilherme Marques Mattos, a dissertação intitulada “Redes de Acesso em Banda Larga Utilizando Sistemas VSAT e Wi-Fi” (MATTOS, 2006). O projeto foi apresentado como requisito parcial na obtenção do título de mestre pelo programa de pós-graduação em engenharia elétrica da PUC-Rio.

O objetivo da dissertação foi apresentar uma metodologia completa para implantação de redes Wi-Fi em 35 escritórios de uma empresa espalhados por todo Brasil, interligando cada uma destas unidades remotas entre si através da tecnologia VSAT. Este relatório limita-se a apresentar apenas aspectos relacionados à implantação da rede Wi-Fi.

A metodologia propõe que a implantação da rede sem fio inicie através da definição da área de cobertura que deve ser atingida, sendo necessária a participação dos usuários nesta etapa. Devem ser levantadas estimativas sobre o volume de dados trafegados para definição da capacidade da rede bem como a quantidade de usuários na unidade.

As características físicas do ambiente também precisam ser consideradas. Um estudo de propagação do sinal através do modelo COST 231 Keenan e Motley é recomendado, pois é capaz de considerar diversos parâmetros significativos no cálculo do modelo. Ainda nesta etapa deve-se realizar o planejamento das frequências utilizadas e também um estudo sobre possíveis fontes de interferências que possam prejudicar a rede. Por fim é feita

a definição da topologia da rede, colocando os equipamentos em suas devidas posições. Abaixo o diagrama mostra as etapas existentes:

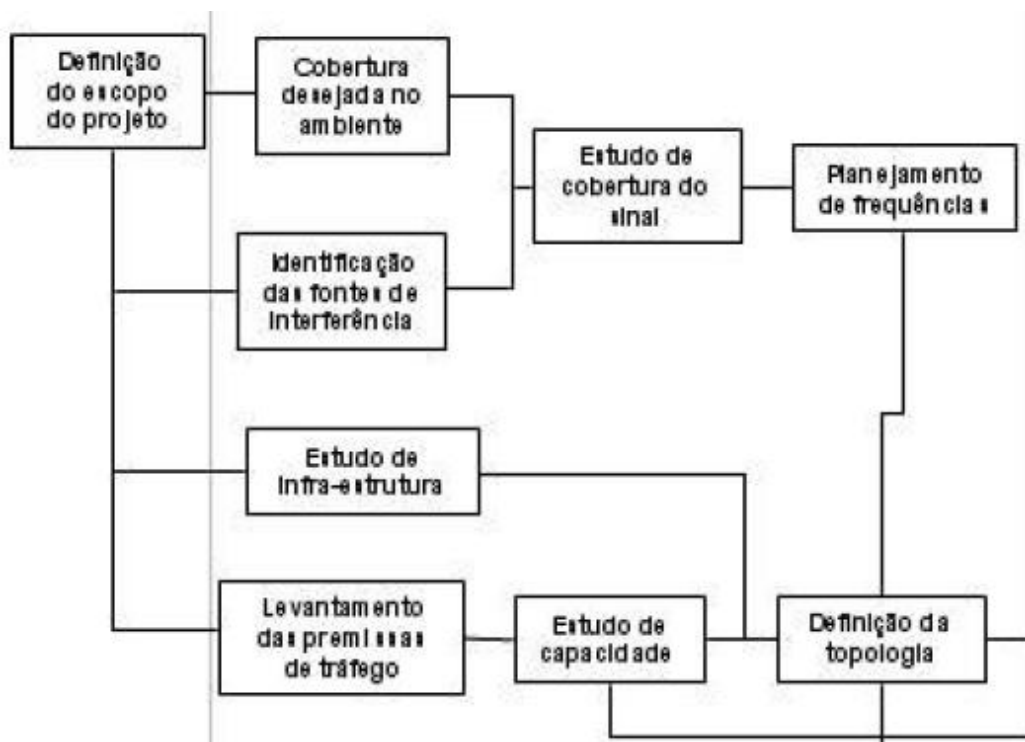


Figura 20 - Etapas de implantação rede Wi-Fi. (MATTOS 2006)

O estudo da cobertura do ambiente geralmente é realizado através de *site survey* ou com a ajuda de softwares específicos para este fim. Site Survey é o processo de projetar redes sem fio com a realização de medições e testes reais no local alvo do estudo. Esta técnica produz bons resultados, porém custam caro devido à necessidade de uma equipe especializada para tal.

A utilização de softwares de projeto de redes sem fio é uma boa alternativa, pois utilizam modelos de propagação de sinal que são capazes de estimar satisfatoriamente o nível de sinal em cada parte do ambiente. Para que funcionem adequadamente, o software deve ser devidamente programado com as características do ambiente e a distribuição dos pontos de acesso com as respectivas potências de transmissão. Em seu projeto, MATTOS (2006) utilizou o software WLAN Walktest (NAJNUDEL, 2004) para simular a cobertura da rede sem fio.

Para oferecer rede Wi-Fi com velocidade mínima de 11Mbps em um ambiente de 1.000m², foi especificada a instalação de 3 pontos de acesso

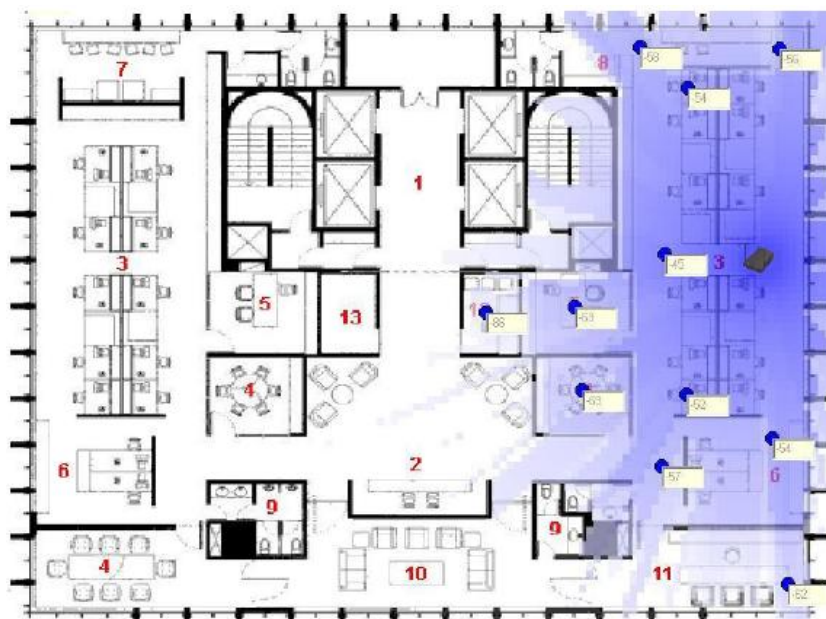


Figura 23 - Cobertura ponto de acesso 3 (MATTOS, 2006)

A utilização do software permite a realização de simulações até que seja encontrada a melhor combinação possível, evitando transtornos junto aos usuários no local.

No que diz respeito a evitar interferências, o autor manteve distância mínima de 20 metros de locais onde pode haver emissão de sinais na faixa de 2,4Ghz, como por exemplo fornos de micro-ondas, telefones sem fio e aparelhos Bluetooth. Já no que tange à escolha das frequências de transmissão, foram utilizados canais distantes o bastante para evitar qualquer sobreposição de sinais entre cada ponto de acesso, ou seja, o ponto de acesso 1 ficou no canal 1, o ponto de acesso 2 ficou no canal 6 e o ponto de acesso 3 ficou no canal 11.

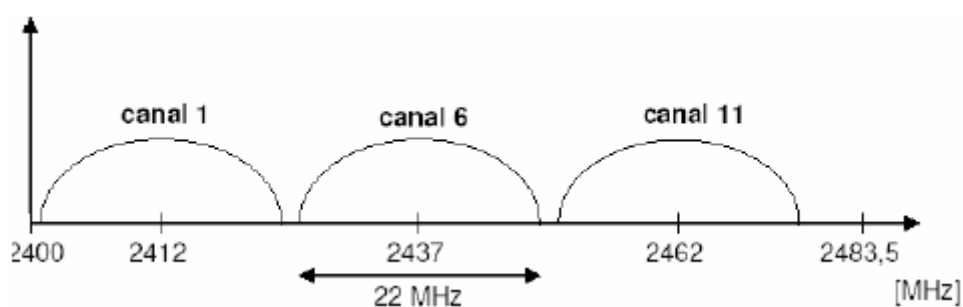


Figura 24 - Frequências utilizadas (MATTOS, 2006)

Foi realizado ainda levantamento sobre a quantidade de usuários e perfis destes, buscando estimar quais aplicações de rede são utilizadas e quais as necessidades de qualidade e tráfego que a rede deverá suportar. Através de cálculos, ao final foi estimada uma demanda média de 179,2Kbps por usuário, havendo 24 funcionários no local. Este resultado é utilizado no projeto do link VSAT para interligação com as demais unidades.

3.2.2 Considerações de Projeto e Implantação de Redes Sem Fio (MARX, 2008)

Em 2008, Amauri Tiago Marx publicou sua monografia de especialização em sistemas de informação intitulada “Do Projeto à Implantação de Redes Sem Fio: Estudo de Caso” (MARX, 2008). Este trabalho visou documentar os passos tomados na implantação da rede Wi-Fi no campus da UNOESC, unidade de São Miguel do Oeste.

O estudo iniciou apresentando a planta baixa do campus, expondo a área de 22,045 m² que deveria ser contemplada pela rede sem fio. Devido ao grande tamanho do ambiente alvo do projeto, a topologia de rede escolhida foi a BSS, buscando manter uma intersecção de cobertura de sinal entre pontos de acesso vizinhos e também priorizando a instalação destes equipamentos em locais com disponibilidade de acesso à rede de dados cabeada. Com o apoio de um computador portátil, o autor ainda realizou testes de sinal que ajudaram na tomada de decisão para realizar ajustes finos na localização dos pontos de instalação. A rede sem fio foi separada da rede de dados administrativa através da criação de VLANs.

nível de sinal oriundo de cada ponto de acesso, mostrando assim que em vários locais existe redundância de sinal por mais de um ponto de acesso, oferecendo maior robustez à rede sem fio. Para realizar monitoração dos equipamentos da rede, foi habilitado o protocolo SNMP, produzindo assim dados para interpretação no CACTI, que é capaz de gerar gráficos que evidenciam a presença e características dos equipamentos na rede.

4 VoIP em WLAN

Apesar de todos os avanços e vantagens oferecidas pelas redes sem fio, não podemos ignorar os problemas inerentes a esta tecnologia, como interferências produzidas por outros equipamentos e a existência de obstáculos físicos que prejudicam a propagação das ondas de rádio. Estes pontos negativos se mostram com mais evidência quando a rede é utilizada para execução de aplicações sensíveis ao tempo, como é o VoIP, onde a tolerância contra perdas e atrasos de pacotes é muito inferior às aplicações não sensíveis ao tempo. Assim sendo, redes Wi-Fi que preveem o VoIP como foco de utilização, também conhecidas como redes VoWiFi, devem tomar certos cuidados.

Este capítulo apresenta detalhes do funcionamento de QoS em Wi-Fi, sendo esta a principal forma de buscar manutenção de qualidade de serviço. Também são expostos os problemas mais comuns relacionados ao tráfego de voz em redes sem fio.

4.1 QoS em Wi-Fi (IEEE 802.11e)

Conforme ARUBA NETWORKS (2011), durante a maior parte do tempo, as redes de dados são subutilizadas, sobrando grande poder computacional para processamento e transferência de pacotes de dados. Porém é comum a existência de momentos com picos de utilização, podendo ocorrer nestas situações gargalos e congestionamentos, prejudicando a qualidade dos serviços que rodam sobre a rede.

O meio de transmissão das redes Wi-Fi é um canal com 20 ou 40MHz de largura de espectro de frequência, sendo esta faixa compartilhada por todos aqueles conectados à rede sem fio e também por outros pontos de acesso que estejam operando no mesmo canal de frequência.

A criação de políticas de QoS é uma alternativa altamente recomendável para evitar problemas, ou pelo menos reduzir os impactos aos usuários da

rede. As políticas de QoS devem prever marcação dos pacotes de voz nas estações onde são produzidos e priorização de roteamento destes pacotes de voz em todos os roteadores integrantes da rede, permitindo o tráfego destes mesmo quando a rede está sobrecarregada.

De acordo com BEURAN (2006), com o intuito de melhorar a qualidade de serviço em redes sem fio, foi publicado em 2005, o padrão IEEE 802.11e, também conhecido como *Wi-Fi Multimedia* ou *WMM*, que trata especificamente de formas para garantir qualidade de serviço neste tipo de rede. O padrão funciona agregando à camada MAC já existente no IEEE 802.11 funções para gerenciar QoS, adicionando suporte à aplicações com requisitos de QoS e provendo classes de serviços. Adicionalmente, o padrão fornece melhorias de eficiência ao protocolo, que em conjunto dos aperfeiçoamentos na camada física dos padrões IEEE 802.11a e IEEE 802.11b, tendem a melhorar o desempenho geral do sistema, aumentando sua aplicabilidade para aplicações sensíveis a atraso, perda e jitter.

Ainda segundo BEURAN (2006), originalmente a camada MAC contava somente com dois modos de operação: o DCF (*Distributed Coordination Function*) que não possui nenhum tipo de suporte para priorização de pacotes, operando apenas no paradigma melhor esforço (*Best-effort*) e tratando pacotes de voz ou de dados da mesma maneira. A segunda forma de operação existente era PCF (*Point Coordination Function*) e prevê priorização de pacotes, porém com várias limitações desfavoráveis. Nesta modalidade os pontos de acesso periodicamente distribuem pacotes de sinalização na rede informando os parâmetros de gerenciamento vigentes para a rede sem fio. Entre um pacote de sinalização e outro, o PCF divide o tempo de utilização do meio de transmissão entre momentos sem e com contenção, sendo que somente dados sensíveis ao tempo podem ser transmitidos durante os períodos com contenção.

Dentre as limitações existentes, as principais são a falta de possibilidade de diferenciação entre diversos tipos de aplicações sensíveis ao tempo, já que determinados serviços são mais sensíveis do que outros. A lacuna de tempo entre um pacote de sinalização e outro, que pode causar atraso além dos

limites tolerados pela aplicação e a grande dificuldade em controlar o tempo de acesso ao meio de transmissão por cada estação. Outro problema comum ao DCF e PCF é a inexistência de mecanismos de controle de acesso ao meio, de modo que em momentos de alta demanda, as transmissões se deterioram rapidamente.

O IEEE 802.11e propôs modificações nos modos de operação supracitados da camada MAC, possibilitando a aplicação de QoS em serviços críticos e garantindo compatibilidade retroativa. Além disto, foram criadas novas funcionalidades que oferecem mecanismos de QoS priorizado e QoS parametrizado. O primeiro refere-se a requisitos expressos em termos de prioridade relativa de entrega, sem estrito e quantitativo suporte a determinado serviço. QoS parametrizado obedece estritamente requisitos expressos em valores quantitativos como taxa de dados, limites de atraso e jitter. Foram ainda desenvolvidas técnicas de controle de acesso ao meio, evitando colisões e degradação das transmissões.

4.2 Aspectos do Wi-Fi que afetam VoIP

Assim como qualquer outra tecnologia de rede de dados, o Wi-Fi está sujeito às variáveis já apresentadas que afetam o desempenho de chamadas de voz como atraso, jitter e perda de pacotes. Adicionalmente a isto, assim como as outras tecnologias de redes sem fio, as redes Wi-Fi sofrem de problemas como interferências, ruídos e atenuação de sinal. Estas características, quando não devidamente observadas, podem prejudicar o desempenho de VoIP em Wi-Fi. De acordo com CONCEICAO (2006), além destes aspectos genéricos já mencionados e analisados, existem outros que podem ocorrer com maior frequência especialmente em redes Wi-Fi, sendo os dois principais: *handoff* e tráfego em rajadas.

4.2.1 Handoff

Além de seus usuários não necessitarem de cabos, outra grande vantagem das redes sem fio é a mobilidade conferida aos clientes da rede, que podem se mover dentro da região coberta pelo Wi-Fi, inclusive migrando da área de cobertura de um ponto de acesso para a área de cobertura de outros pontos de acesso da mesma rede. Porém é no momento que o usuário está em movimento e faz a migração entre pontos de acesso, também chamado de *handoff*, que durante uma chamada VoIP foi identificada ocorrência de uma das situações que mais afetam negativamente o desempenho do serviço.

Ainda de acordo com CONCEICAO (2006), foram realizados experimentos onde tráfego VoIP foi simulado e uma estação se movia entre pontos de acesso de uma rede, produzindo o cenário de handoff e assim possibilitando a medição dos parâmetros que afetam a qualidade de voz em redes de dados. Nestes testes foram observados 4 handoff com durações de 1.18s, 3.75s, 1.25s e 1.82s aproximadamente. Pouco antes dos handoffs, o nível de sinal caiu a valores próximos de -90dBm, considerado baixo quando comparado a valores como -30dBm que foram observados quando a acesso estava estabilizado. Durante as trocas de pontos de acesso, a perda de pacotes atingiu números acima de 180 e o atraso ultrapassou 700ms.

O conjunto de fatores simultâneos observados durante o handoff impede que este evento seja transparente ao usuário quando ocorrido durante uma chamada VoIP, onde não raramente é acompanhado de desconexão total da ligação.

4.2.2 Tráfego em rajadas

Segundo TELCHEMY (2005), tráfego em rajadas é denominado quando pacotes que foram produzidos sequencialmente em tempos distintos chegam ao destino simultaneamente ou quase. Ocorre quando, por algum motivo, os pacotes ficam retidos em algum ponto da rede, de modo que ocorre um atraso

generalizado na entrega dos pacotes e subitamente a entrega dos dados é restabelecida, assim todos os pacotes atrasados são entregues imediatamente ao destino sem perdas adicionais.

Este fenômeno é comum em redes 802.11, sendo inclusive observado simultaneamente em redes distintas situadas no mesmo ambiente. As causas podem ser desde interferências à lentidão de processamento em um dos equipamentos da rede.

Em relação ao VoIP, quando registrado tráfego em rajadas em níveis elevados, pode causar cortes nas chamadas ultrapassando segundos de duração. Outro problema comum relacionado ao tráfego em rajadas em redes sem fio utilizadas para VoIP é quando muitos pacotes chegam ao destino simultaneamente, podendo causar estouro do buffer da aplicação e assim causando descarte indevido de dados importantes, provocando perda de fragmentos de áudio.

4.2.3 Capacidade de redes Wi-Fi

Com frequência os usuários avaliam a capacidade de transmissão de uma rede dividindo a taxa máxima de transmissão do ponto de acesso pelo número esperado de clientes, assim sendo, uma rede de 54Mbps com 10 usuários simultâneos resultaria em 5,4Mbps de banda de transmissão para cada um. Erroneamente, esta conta considera que 100% do que trafega na rede é dado útil ao usuário final. Baseando-se nisto, o cálculo de capacidade de chamadas VoIP na rede estaria completamente equivocada.

Conforme analisado por SHIN (2008), com o aumento do número de usuários conectados, aumentam as colisões e retransmissões, tempos de *backoff* para transmissão e a eficiência da rede é sensivelmente reduzida. Além disto, é necessário considerar os vários overheads inseridos pelos diversos protocolos existentes do início ao fim da comunicação. Adicionalmente, os padrões 802.11 geralmente produzem pacotes de reconhecimento (ack) em resposta às transmissões realizadas por vários tipos de aplicações. Assim

sendo, muito do tráfego existente na rede é transparente ao cliente e consome boa parte da banda com a qual os usuários indevidamente contavam ser exclusivamente destinada ao seu uso.

Para que seja possível estimar a capacidade de chamadas VoIP em uma rede de dados é necessário conhecer o perfil do tráfego existente na mesma, além de definir o tipo de transmissão VoIP que será empregada.

Assim como em qualquer chamada telefônica, cada participante tem a sua vez para falar durante a ligação, a não ser que estejam no meio de uma discussão. Portanto, enquanto um lado ouve, o outro escuta. Frequentemente o canal de comunicação fica alocado nos dois sentidos durante toda a conversação, potencialmente desperdiçando no mínimo 50% do tráfego de dados gerado pela ligação. Este modo de transmissão de dados é chamado de CBR (*Constante Bit Rate*), pois a taxa de transmissão em cada sentido é constante durante toda chamada. Observando este desperdício de recursos, foi desenvolvido o modo de transmissão em VBR (*Variable Bit Rate*), que possibilita a redução da taxa de transmissão do canal que está em silêncio, inclusive quando os participantes da conversa alternam a vez de falar. No mínimo, esta técnica pode dobrar a capacidade de chamadas VoIP na rede.

5 Proposta de Metodologia de Implantação de Redes Sem Fio Homologadas para VoIP

Com base no estudo teórico realizado neste projeto, é proposta a seguir uma metodologia de implantação de redes sem fio considerando requisitos de tráfego de sistemas VoIP. Este trabalho contempla desde a pesquisa para definição das características desejadas para a rede sem fio até a avaliação do ambiente em questão e posicionamento físico dos equipamentos.

Para definição desta metodologia, inicialmente foi realizado um estudo de outras metodologias de implantação de redes sem fio já existentes, compilando o que existe de melhor em cada uma, reaproveitando as técnicas que foram consideradas as melhores dentro de cada etapa envolvida no processo de implantação de redes sem fio. Quando observados aspectos limitados, foram colocadas melhorias nas técnicas escolhidas na criação da nova metodologia. Estas metodologias foram apresentadas na seção 3.2.

Por fim, é estabelecido um método de homologação para VoIP em redes sem fio, com métricas e passos a serem seguidos para garantir qualidade do serviço, possibilitando identificar a necessidade de realização de alterações na rede para que se atinja nível satisfatório dos serviços.

5.1 Visão Geral da Metodologia Proposta

A figura 26 apresenta as etapas da metodologia de Implantação de Redes Wi-Fi considerando o tráfego de voz. A proposta é composta por duas fases:

- **Projeto da Rede Wi-Fi:** Esta fase envolve as etapas de análise de requisitos, estimativa de tráfego e de usuários, estudo do ambiente, de cobertura desejada, de infraestrutura de rede e de elétrica, definição das características dos equipamentos;
- **Implantação da Rede Wi-Fi:** Esta fase envolve as etapas de posicionamento dos equipamentos, estudo de cobertura de sinal, simulação

de tráfego de dados e de tráfego VoIP, avaliação de desempenho e possíveis ajustes.

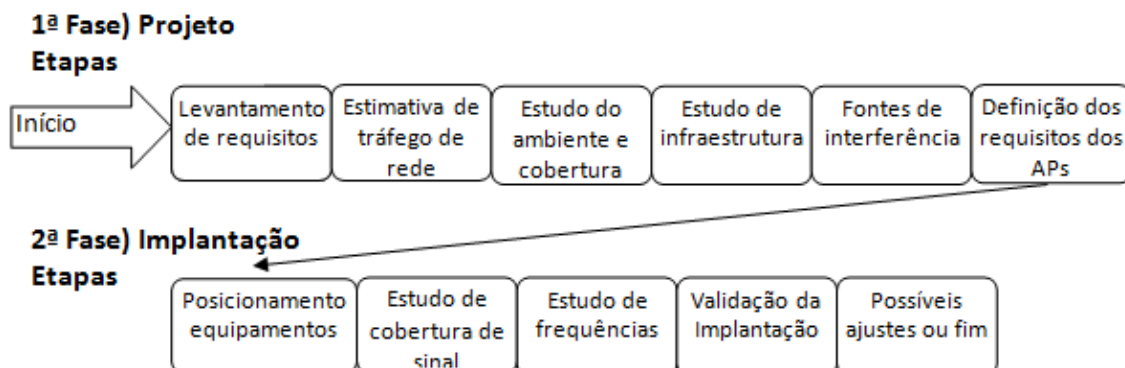


Figura 26 – Fases e etapas da metodologia

A fase de projeto compreende as seguintes etapas:

- **Levantamento de requisitos:** Assim como ocorre no início do desenvolvimento de um software, o primeiro passo na elaboração de um projeto de rede sem fio é o levantamento de requisitos e definição do escopo que o projeto deve contemplar;
- **Estimativa de tráfego da rede:** Nesta etapa devem ser estabelecidos valores para a quantidade esperada de usuários na rede de dados, serviços de rede frequentemente utilizados, tráfego que deverá ser suportado e quantidade estimada de chamadas VoIP simultâneas. Esta avaliação inicial deve ser feita cuidadosamente e, se possível, com o apoio e aprovação do cliente contratante ou futuros usuários da rede;
- **Estudo do ambiente e de cobertura desejada:** Deve ser feita uma avaliação do ambiente que deverá ser coberto pela rede;
- **Estudo de infraestrutura de rede e elétrica:** Avaliação da infraestrutura já existente e que precisará ser instalada para suportar o projeto;
- **Identificação de fontes de interferência:** Deve ser feito um levantamento das possíveis fontes de interferências no local;
- **Definição dos requisitos dos APs:** Alguns critérios são importantes na escolha dos equipamentos e devem ser pensados na fase de projeto, como

por exemplo: tipo de segurança que será implementada, mecanismos de QoS e potência dos equipamentos.

A fase de implantação compreende as seguintes etapas:

- **Posicionamento dos equipamentos:** Após realizada a fase de projeto, os equipamentos devem ser instalados nas posições onde se julgou mais adequado;
- **Estudo da cobertura de sinal:** Esta etapa visa avaliar se o sinal alcança toda a área alvo da rede sem fio pretendida;
- **Estudo de frequências:** Esta fase compreende a análise do melhor canal de comunicação disponível no ambiente onde ficarão posicionados os equipamentos;
- **Validação da implantação:** Visa avaliar se o que foi instalado atende aos requisitos. Esta fase envolve a simulação do tráfego esperado, realizando a avaliação das métricas de desempenho;
- **Possíveis ajustes de posicionamento, configurações ou especificação de equipamentos:** Em caso da existência de necessidade é realizado ajuste de posicionamento físico dos equipamentos, especificação dos hardwares envolvidos ou ajustes de configurações da rede, sendo retomada a primeira etapa da fase de implantação denominada “Posicionamento dos equipamentos”.

5.2 Fase de Projeto

As seções que seguem apresentam detalhadamente cada etapa da fase de projeto da metodologia proposta.

5.2.1 Levantamento de Requisitos

Trata dos requisitos que o projeto deverá atender, estabelecendo limites claros e delimitando o que será e o que não será abordado, prevenindo todas as partes envolvidas contra possíveis mal entendidos sobre o que seria realizado e entregue.

Nesta etapa devem ser respondidas questões como:

- Se o projeto envolve reuso de equipamentos de rede sem fio existentes ou se estes deverão ser especificados no próprio projeto;
- Se será necessário ou não fazer modificações na rede de dados cabeada para que seja possível fazer a interligação desta com a rede de dados sem fio;
- Se será ou não necessário fazer alterações na rede elétrica para alimentar os equipamentos envolvidos no projeto;
- Deve ser identificado que o projeto engloba somente a rede sem fio local e que não avalia as formas e meios de interligação desta com a Internet;
- É importante deixar claro que a validação para tráfego de voz é feita e aplicável somente dentro do âmbito da rede wireless.

Todos os levantamentos realizados nesta etapa devem ser devidamente documentados e mantidos para registro.

5.2.2 Estimativa de Tráfego de Rede

Nesta etapa é necessário realizar o levantamento de requisitos em termos do tráfego que a rede sem fio deverá tratar. Para este levantamento é necessário realizar um estudo visando identificar o número máximo de usuários simultâneos que a rede deverá atender.

Em termos de estimativa de tráfego de dados, devem-se listar as aplicações de rede que provavelmente serão utilizadas com mais frequência.

Exemplos de aplicações frequentemente utilizadas e taxas médias de banda de transmissão por usuário conectado:

- **Tráfego Web:** para a estimativa do tráfego de pico web, deve-se conhecer o tamanho médio das páginas web e do tempo limite para transferência das páginas Web. Segundo HTTP ARCHIVE (2013), o tamanho médio das páginas Web em Maio de 2013 é de 1427KB. Considerando o pior caso, quando não há recursos em cache, e considerando um tempo limite de carga de uma página de 5s, a taxa necessária para recuperar uma página web média é de 285,4Kbps. Em seguida, deve-se estimar o número de páginas baixadas simultaneamente pelos usuários atendidos por um AP. A taxa de pico seria definida pelo produto entre o número de páginas recuperadas simultaneamente e a taxa de bits necessária para recuperar uma página Web. No caso, se o projetista da rede pretende garantir uma transferência em 5s de uma página média para 10 usuários navegando simultaneamente, a rede deveria prover uma taxa de $10 \times 285,4\text{Kbps}$, ou seja, 2854Kbps;

- **Tráfego de vídeo:** Outra aplicação frequentemente utilizada é o acesso a streams on-line de vídeos. Atualmente é comum a disponibilidade de vídeos on-line em diversas resoluções, produzindo fluxos de dados conforme exemplos da tabela 8. Para definir a taxa de pico para o tráfego de vídeo é necessário prever o número de vídeos baixados simultaneamente e atendidos por um AP e a taxa média dos vídeos. A taxa de pico do tráfego de vídeo seria o produto destes dois valores.

	240p	360p	480p	720p	1080p
Resolução	426 x 240	640 x 360	854x480	1280x720	1920x1080
Taxas de bits de vídeo					
Máximo	700 Kbps	1000 Kbps	2000 Kbps	4000 Kbps	6000 Kbps
Recomendado	400 Kbps	750 Kbps	1000 Kbps	2500 Kbps	4500 Kbps
Mínimo	300 Kbps	400 Kbps	500 Kbps	1500 Kbps	3000 Kbps

Tabela 8 – Taxas de bps de streams de vídeo (SUPPORT GOOGLE, 2013)

- **Tráfego VoIP:** Em termos de estimativa do tráfego VoIP, deve-se identificar o codec de voz a ser utilizado, bem como a utilização de técnicas de supressão de silêncio. Conforme já apresentado na seção 2.7, existem diversos CODECs de voz e cada um produz determinada taxa de fluxo de dados. O CODEC G.711 produz o maior fluxo de dados e por sua qualidade é equiparado ao sistema telefônico convencional, devido a estes fatores tomaremos este CODEC como base neste estudo. Para cada chamada VoIP deve ser considerado um fluxo de dados de 80Kbps, incluindo o pacote de áudio, sem supressão de silêncio, e todo encapsulamento inerente ao transporte do mesmo. A taxa de pico do tráfego VoIP é dada pela multiplicação do número simultâneo de chamadas VoIP vezes 80Kbps;

Depois de identificadas as aplicações que serão utilizadas com maior frequência e o consumo médio de rede produzido por cada aplicação, é necessário estimar quantos por cento dos usuários da rede estarão utilizando cada um destes serviços simultaneamente, calculando o tráfego total da rede. Por exemplo, numa rede que deverá suportar 10 usuários simultâneos, onde estimamos que 40% destes estarão fazendo acesso web, 10% realizando chamada VoIP e 20% assistindo vídeos a uma resolução de 480p, teremos:

- Tráfego da rede = (4*acesso web) + (1*chamada VoIP) + (2*vídeo 480p)
- Tráfego da rede = (4*285,4Kbps) + (1*80Kbps) + (2*1000Kbps)
- Tráfego da rede = 1141,6Kbps + 80Kbps + 2000Kbps
- Tráfego da rede = 3221,6Kbps

Neste cenário ilustrativo, a taxa média por usuário seria de 3221,6Kbps/10 = 322,16Kbps;

É recomendado adicionar taxa de segurança de 15% sobre o valor de taxa de transmissão estimada, reduzindo o risco de indisponibilidades.

5.2.3 Estudo de ambiente e de cobertura desejada

Antes de realizar o posicionamento dos equipamentos utilizados para montagem da rede sem fio, é necessário conhecer o local alvo do projeto e definir geograficamente os pontos limites que deverão ser atendidos pela rede sem fio. Durante este processo já poderão ser identificados prováveis pontos críticos e este levantamento já servirá como base parcial para escolha do local dos equipamentos para a primeira bateria de testes que será realizada em outra etapa.

O material necessário para execução desta etapa é a planta baixa do local onde a rede deverá ser instalada. Nesta planta, devem ser identificados e marcados todos os limites geográficos que a rede deverá atender. Também é necessário identificar na planta baixa o material das paredes e de outras possíveis barreiras críticas que atuam na atenuação do sinal.

5.2.4 Estudo de infraestrutura de rede e elétrica

Outro critério frequentemente utilizado na pré-escolha dos locais onde serão instalados os equipamentos é a prévia existência de alguma infraestrutura essencial que possa ser reaproveitada, como pontos de rede para interligação com a rede de dados cabeada e tomadas elétricas para alimentação dos dispositivos. Este estudo avalia as vantagens e desvantagens de alocar um equipamento fora da posição que seria a mais indicada do ponto de vista de propagação de sinal, porém ainda atendendo a todos os critérios de qualidade definidos e com a vantagem de evitar a necessidade de realizar obras estruturais que aumentariam o custo e tempo do projeto. Também deve ser considerada a possibilidade de dispensar o uso de caixas de proteção, instalando os equipamentos em locais naturalmente seguros.

Material necessário para execução desta etapa:

- Planta da rede elétrica;
- Planta da rede de dados existente;

Devem ser identificados e marcados na planta baixa, obtida na etapa anterior, os pontos da rede de dados e elétrica que podem ser reaproveitados.

5.2.5 Identificação de fontes de interferência

Por fim o último critério que deve ser considerado na fase de estudos do ambiente é a avaliação criteriosa de possíveis fontes de interferências. O Wi-Fi opera na faixa de 2,4GHz, sendo sensível a ruídos presentes em frequências próximas. É comum este tipo de interferência ser produzida por fornos de micro-ondas, telefones sem fio, motores que emitem campos magnéticos fortes e principalmente por outras redes Wi-Fi operando em canais de comunicação próximos. Como regra geral, admite-se que sejam mantidos pelo menos 20 metros de distância de qualquer uma destas fontes de interferência.

A partir da planta baixa do local anotada na etapa anterior, deve ser realizada a identificação das barreiras de atenuação de sinal, infraestrutura de rede de dados e elétrica. A presença das fontes de interferência citadas deve ser marcada na planta baixa, traçando um raio de 20 metros no entorno destes pontos onde os APs não deverão ser posicionados.

5.2.6 Definição de Requisitos do APs

Nesta etapa são expostos os critérios que devem ser usados na escolha dos equipamentos de ponto de acesso.

5.2.6.1 Definições de Segurança

Um aspecto fundamental que deve ser considerado na escolha dos equipamentos é a disponibilidade de modernas técnicas de segurança, possibilitando a implementação do nível de segurança mais adequado para cada aplicação.

Quanto às técnicas de autenticação e segurança, de forma geral é recomendado o uso do WPA2, pois ainda que não seja um mecanismo totalmente à prova de fraudes, este oferece a confiabilidade necessária para a maioria das aplicações.

Caso os equipamentos que serão utilizados no projeto já estejam disponíveis no local e não ofereçam suporte à técnica de segurança desejada, é recomendado que seja verificada a disponibilidade de atualização de firmware que introduza a facilidade para que o equipamento atenda à diretriz de segurança e possa ser utilizado.

5.2.6.2 Mecanismos de Qualidade de Serviço

Considerando que a presente metodologia tem aplicação especialmente direcionada para o uso com tecnologia VoIP, a implantação de mecanismos de garantia de qualidade de serviço (QoS) visando priorizar encaminhamento dos pacotes de voz é algo que deve ser considerado desde o início do projeto.

É na etapa da escolha dos equipamentos de ponto de acesso sem fio que devem ser buscadas opções que ofereçam a funcionalidade QoS em redes Wi-Fi, mais precisamente conhecida como IEEE 802.11e ou WMM (BEURAN, 2006).

Para os casos onde os equipamentos já estejam disponíveis no local e não ofereçam o recurso desejado, assim como foi recomendado na etapa anterior, deve-se avaliar a disponibilidade de atualizações que possibilitem o atendimento à diretriz de política de qualidade de serviço.

Conforme avaliado na seção 5.2.2, é importante definir valores e limitar a banda de transmissão/recepção que cada usuário terá ao seu dispor, evitando assim que um cliente prejudique a qualidade do serviço de todos os demais.

5.2.6.3 Potência de sinal

Outro critério importante no projeto da rede sem fio é a potência dos equipamentos envolvidos. A potência do sinal transmitido pelo ponto de acesso

é constante, sendo medida em dBm. Esta mesma unidade mede o nível de sinal recebido pelos clientes e varia em cada ponto geográfico da rede sem fio, devido aos obstáculos físicos e outras barreiras à propagação de sinal. A escala dBm é logarítmica, proporcionando aproximadamente o dobro de potência de sinal a cada 3 dBm, conforme apresentado na tabela 9.

00 dBm	=	1 milliwatt
03 dBm	=	2 milliwatts
06 dBm	=	4 milliwatts
09 dBm	=	7.9 milliwatts
12 dBm	=	15.8 milliwatts
15 dBm	=	31.6 milliwatts
18 dBm	=	61.1 milliwatts
21 dBm	=	125.9 milliwatts
24 dBm	=	251.2 milliwatts
27 dBm	=	501.2 milliwatts
30 dBm	=	1000 milliwatts
60 dBm	=	1000000 milliwatts

Tabela 9 - dBm x milliwatts (MORIMOTO, 2011)

No que tange às antenas, a escala de medição do ganho de potência é o dBi e segue o mesmo princípio exposto acima.

Conforme MATTOS (2006), a tabela 10 apresenta alguns exemplos de atenuação de sinal provocado por determinados materiais:

Paredes de concreto:	17dB
Parede de tijolo:	10dB
Paredes de gesso:	8dB
Janelas de vidro:	3,5dB
Portas de madeira:	4,5dB
Mobília:	2dB
200m de espaço aberto:	<1dB

Tabela 10 - Atenuação de sinal (MATTOS, 2006)

Conforme ocorre degradação do nível de sinal, aumentam as colisões, retransmissões, perda de pacote, atraso, jitter e a velocidade cai abruptamente. A tabela 11 faz uma relação entre o nível de sinal e a velocidade que pode ser atingida:

1 mbps:	-92 dBm
2 mbps:	-91 dBm
5.5 mbps:	-90 dBm

9 mbps:	-88 dBm
12 mbps:	-87 dBm
18 mbps:	-86 dBm
24 mbps:	-83 dBm
36 mbps:	-80 dBm
48 mbps:	-74 dBm
54 mbps:	-72 dBm

Tabela 11 – Potência de Sinal x Velocidade (MORIMOTO, 2011)

Ainda conforme MORIMOTO (2011), o nível de sinal que chega ao receptor pode ser estimado através da equação abaixo:

Potência de transmissão + ganho da antena - perda de sinal + ganho da antena receptora

Segundo TAMOGRAPH (2013), para que exista possibilidade de realizar comunicação, a relação sinal ruído deve ser igual ou melhor que 4 dBm. Considerando que regiões povoadas apresentam em média -90 dBm de ruído, tem-se que a potência mínima de sinal que deve estar presente gira em torno de -86 dBm, conferindo a menor relação sinal ruído necessária para permitir funcionamento. Estes valores variam de acordo com o ambiente, sendo demandada mais potência de sinal conforme aumenta a potência de ruído.

Considerando o que foi exposto acima, os equipamentos devem ser especificados de modo a garantir em toda a área coberta pela rede sem fio o nível mínimo de sinal capaz de oferecer a velocidade necessária para atender às aplicações que a rede deverá suportar.

Os pontos de acesso devem possuir potência de transmissão e antenas com ganhos suficientes para levar o sinal com a potência devida para atingir a velocidade necessária em todos os pontos da rede.

É recomendado utilizar equipamentos com antenas de no mínimo 5 dBi de ganho e potência de transmissão de 20 dBm (100 mW). Atualmente estão disponíveis no mercado equipamentos para uso residencial com potências que chegam a 27 dBm (500mW).

É extremamente importante tentar evitar as barreiras que mais agridem o sinal. A perda ocorrida em espaço aberto é quase irrelevante se comparada aos outros possíveis obstáculos;

Teoricamente é possível especificar a quantidade de pontos de acesso necessários utilizando a equação apresentada anteriormente, porém devido à

dificuldade de estimar corretamente a perda de sinal nos diversos pontos que deverão ser cobertos pela rede, é recomendado que primeiramente seja feito o teste no local com apenas um AP, utilizando este para determinar a quantidade de equipamentos que realmente serão necessários para levar o sinal com a potência devida em toda a área desejada.

5.2.6.4 Escolha entre 802.11b, 802.11g ou 802.11n

Na seção “5.2.2 Estimativa de Tráfego de Rede” foi estimado o tráfego que a rede deverá suportar. De acordo com a seção “3.1 IEEE 802.11”, a tabela 7 apresenta os padrões de redes sem fio mais populares disponíveis e as respectivas taxas de transmissão. A escolha do padrão que será utilizado deve garantir que o tráfego estimado esteja dentro do suportado pelo padrão escolhido.

O padrão 802.11n é o mais moderno e oferece o melhor desempenho, aliado ao fato dos equipamentos dos demais padrões não necessariamente serem mais baratos que os utilizados pelo padrão 802.11n, é recomendado o uso desta tecnologia em qualquer rede sem fio que seja projetada atualmente.

5.3 Fase de Implantação

As seções que seguem apresentam detalhadamente cada etapa da fase de implantação da metodologia proposta.

5.3.1 Posicionamento dos Equipamentos

O material necessário para realizar posicionamento inicial dos equipamentos é a planta baixa e marcações realizadas na mesma durante as etapas da fase de projeto. Na planta baixa os equipamentos deverão ser posicionados e instalados nos locais onde se considerou que apresentariam o melhor funcionamento possível, levando em conta as variáveis “cobertura

desejada”, “infraestrutura de rede de dados e rede elétrica” e “fontes de interferências”.

Buscando estimar e validar precisamente o número necessário de APs para cobrir toda a área compreendida pelo projeto é possível adotar a abordagem que segue:

- Dividir a área total da rede em regiões e validando uma região por vez, reposicionando e utilizando o mesmo AP para validar cada região com a ajuda de uma ferramenta de Site Survey.
- Caso uma determinada região não passe na validação de sinal é necessário redimensionar as regiões ou aumentar o número de regiões, onde cada AP é responsável por cobrir toda uma região.

5.3.2 Estudo de cobertura de sinal

Após o posicionamento dos equipamentos da rede Wi-Fi prossegue-se então para a realização de avaliação de cobertura de sinal. Para isto, deve ser percorrida fisicamente toda a área que deve ser atendida pela rede sem fio.

Devem ser selecionados locais de medições que representem pontos onde será frequente a presença de usuários e também locais onde a probabilidade de disponibilidade de má qualidade de sinal seja mais provável. Estes pontos devem ser numerados e devidamente identificados na planta baixa do projeto, facilitando o registro da potência de sinal disponível medida em cada um dos pontos pesquisados.

Nos pontos selecionados devem-se coletados dados com a ajuda de uma ferramenta de Site Survey. Este tipo de ferramenta nada mais é que um software, executando em um computador móvel, capaz de medir o nível do sinal disponível em diversos pontos, sendo registrado um valor em dBm para a potência de sinal existente em cada local pesquisado;

Caso sejam identificados pontos críticos aonde o sinal chega abaixo dos valores mínimos necessários conforme apresentado na tabela 12 da seção “5.2.6.3 Potência de sinal”.

Identificados pontos críticos, deve ser realizado, ainda dentro desta etapa, ajustes de posicionamento dos equipamentos.

Se o nível de sinal ainda for insatisfatório em algum ponto dentro da área que precisa ser atendida, as especificações dos equipamentos devem ser revistas através da substituição por outros mais potentes ou adicionando pontos de acesso até que seja coberta toda a área desejada.

Para adicionar mais APs à rede, ver abordagem proposta na etapa anterior.

5.3.3 Estudo de frequências

Frequentemente as maiores fontes de interferência encontradas são exatamente outras redes sem fio operando em canais de comunicação que se sobrepõem. Usando softwares de Site Survey é possível identificar o canal de comunicação em que cada uma das demais redes sem fio nos arredores estão operando, permitindo assim a escolha do canal cujas frequências estejam menos disputadas.

Deve-se considerar que apenas os canais 1, 6 e 11 não apresentam nenhuma sobreposição entre si, assim sendo, deve-se optar por aquele que esteja com menos poluição por outros canais vizinhos. Alguns modelos de roteadores permitem a escolha dinâmica do canal de comunicação, alternando automaticamente para o canal que apresentar o menor ruído.

Caso a escolha do canal de comunicação precise ser feita manualmente, com a ajuda da ferramenta de Site Survey deve ser anotado quais canais de comunicações são mais utilizados por outras redes no alcance do ambiente em questão. Deve-se buscar manter 5 canais de distância dos canais mais poluídos. Considerar a figura 24 da seção 3.2.1 para escolher o canal de comunicação mais adequado ao cenário.

5.3.4 Validação da Implantação

Esta fase envolve a simulação do tráfego estimado na seção 5.2.2 e a verificação se a rede garante o desempenho adequado. Esta fase é dividida aqui em duas etapas apresentadas nas seções que seguem.

Simulação de chamadas VoIP e simulação do tráfego esperado

Aqui serão produzidos os tráfegos que a rede deverá suportar simultaneamente às chamadas VoIP que estarão em andamento, conforme segue:

- Com o resultado do estudo de cobertura de sinal em mãos, serão conhecidos os pontos críticos da rede sem fio, sendo aqueles onde o nível de sinal é mais atenuado;
- Simulação do tráfego VoIP: toda a simulação de tráfego VoIP será realizada entre os dois piores pontos identificados, de modo que se a qualidade atingida for satisfatória nestes pontos, por consequência também terá sido alcançada em todo o restante da rede;
- Simulação do tráfego de dados: envolve a simulação do tráfego de dados, como estimado na seção 5.2.2.

As chamadas VoIP serão simuladas tomando como base o CODEC G.711. Este codificador produz um fluxo de dados UDP de 80Kbps, incluindo o payload de áudio e o encapsulamento por outros protocolos envolvidos na comunicação. Cada pacote contém 20ms de áudio, sendo necessários 50 pacotes para transportar 1 segundo de áudio. Conforme BORGES (2012), utilizando o CODEC G.711, a taxa de vazão de pacotes obtida por ele é:

- Fluxo de 80Kbps / 8 = 10000Bytes/s
- 10000Bytes/s divididos por 50 pacotes por segundo = 200Bytes

Ou seja, uma chamada VoIP pode ser simulada produzindo um fluxo UDP de 50 pacotes por segundo com 200 Bytes cada pacote. O número de chamadas

VoIP que deverá ser simulada já foi definido na seção “5.2.2 Estimativa de tráfego”.

Simultaneamente ao processo descrito acima, outras duas máquinas, posicionadas em locais com boa qualidade de sinal, devem simular o tráfego de dados que esperamos que seja observado na rede, simulando a presença do número máximo de usuários que a rede deverá suportar, conforme estipulado na seção “5.2.2 Estimativa de tráfego”.

Todas as simulações e testes devem ser realizados simultaneamente e durante o período de 3 minutos, que é o tempo médio de duração de uma chamada telefônica;

Ainda durante as simulações devem ser coletados os valores das variáveis que afetam a qualidade de chamadas de voz, sendo estas: perda de pacotes, atraso e jitter.

Avaliação das Métricas de Desempenho

Neste trabalho, o conceito atribuído ao termo “homologação”, visa garantir que uma determinada rede sem fio encontra-se apta para rodar serviço VoIP de forma a garantir o satisfatório funcionamento deste recurso, ainda que em paralelo existam outras aplicações em funcionamento.

Para atestar a qualidade de serviço serão utilizadas as recomendações publicadas por ETSI (1998). Os parâmetros e valores que seguem serão considerados e as medições deverão se manter dentro do contexto abaixo, de acordo com o nível de satisfação que se pretende homologar:

Categorias de Qualidade	Atraso fim-a-fim	Média das perdas de pacotes	Variação do atraso	Satisfação do Usuário
Melhor	< 150 ms	0,5%	< 50 ms	Muito Satisfeito
Alto	< 250 ms	3%	< 75 ms	Satisfeito
Médio	< 350 ms	15%	< 125 ms	Alguns Usuários Insatisfeitos
Baixo	<450 ms	25%	<225 ms	Muitos

				Usuários Insatisfeitos
--	--	--	--	------------------------

Tabela 12 – Parâmetros de referência de satisfação (ETSI, 1998)

No caso deste estudo, a rede será considerada validada para tráfego de voz contanto que os valores coletados para as variáveis atraso, perda de pacotes e variação de atraso, estejam dentro dos limites classificados dentro da categoria de qualidade “Alto”. Desta forma, o atraso deverá ser inferior a 250ms, perda de pacotes de até 3% e a variação de atraso não poderá ultrapassar 75 ms, conferindo à satisfação dos usuários.

5.3.5 Possíveis Ajustes de Posicionamento, Configurações ou Especificação de Equipamentos

Caso na etapa anterior seja constatado que a rede não alcança o desempenho adequado para manter a qualidade da voz, é necessário fazer ajustes de posicionamento, configuração ou alteração de equipamentos de rede. Neste caso, os resultados dos testes precisarão ser analisados buscando identificar os motivos de a rede ter apresentado desempenho inferior ao desejado.

Podem ser necessárias alterações na disposição física dos equipamentos, buscando cobrir todas as regiões com sinal de forma mais homogenia. É possível que a única solução seja a substituição dos equipamentos por outros mais potentes ou ainda a adição de mais pontos de acesso, estendendo o alcance geográfico da rede.

Após análise das causas do problema e realização dos ajustes julgados adequados, deve-se retornar ao item “5.3.1 Posicionamento dos Equipamentos” e seguir novamente por cada passo da metodologia até que se tenha resultado satisfatório na etapa “5.3.4 Validação da Implantação”.

Quando for obtido resultado satisfatório, será considerado que a rede encontra-se adequada e homologada para utilização do serviço VoIP. É recomendável que todo este processo seja repetido no mínimo uma vez ao

ano, mantendo a homologação e sendo de fato oferecida qualidade do serviço aos usuários.

6 Estudo de caso

Com a metodologia de implantação de redes sem fio considerando manutenção de qualidade de tráfego de voz definida, a mesma foi utilizada no projeto real de uma rede wireless montada em uma quadra de futebol, onde os proprietários desejavam oferecer esta comodidade gratuitamente a seus clientes.

Ainda neste estudo de caso foi feita uma análise sobre a possível influência nos resultados causados pela implantação do QoS no escopo da metodologia, mostrando a diferença de desempenho dos fluxos de dados na rede, com e sem QoS, em diferentes cenários de tráfego de dados na rede em questão. O único intuito desde comparativo foi analisar e apresentar dados que comprovem ou não, a importância do uso de mecanismos de qualidade de serviço para manutenção do satisfatório funcionamento do tráfego de voz em redes sem fio.

6.1 Fase de Projeto

A seguir foram percorridas todas as etapas envolvidas da fase de projeto de implantação de redes sem fio.

6.1.1 Levantamento de Requisitos

O local alvo do projeto foi um estabelecimento comercial chamado “Quadra Bate-Bola”, onde existe um campo de futebol de grama sintética, bar, mesas de sinuca, arquibancada, quatro vestiários, duas churrasqueiras e estacionamento. Todo o ambiente descrito deveria ser atendido por uma rede sem fio utilizando tecnologia Wi-Fi.

Segue os requisitos deste estudo de caso:

- Os equipamentos necessários para montagem da rede sem fio necessitavam de ser especificados no projeto;

- No local já existia rede de dados cabeada e acesso à Internet. Existia ainda rede elétrica que poderia ser utilizada;
- O projeto não abordou se a interligação da rede sem fio com a rede cabeada e com a Internet estariam adequadas para utilização dos serviços, limitando-se à rede sem fio projetada estar apenas devidamente conectada à rede cabeada e à homologação do serviço VoIP somente dentro do âmbito da rede wireless.

6.1.2 Estimativa de Tráfego da Rede

O público observado diariamente no local é de cerca de 100 pessoas, das quais se estima que 35% possuam *smart-phones* ou outros equipamentos de acesso à rede sem fio, podendo desejar utilizar o serviço.

Este público é igualmente distribuído por 5 horas de funcionamento diário, estimando uso simultâneo de até 10 usuários e devidamente limitando a rede a este número máximo de clientes simultâneos.

Em acordo com os proprietários do estabelecimento foi estipulado que a rede deveria suportar pelo menos 2 chamadas VoIP simultâneas além de todo o tráfego residual estimado a seguir. As aplicações cujo uso é esperado que sejam mais frequentes são: acesso às redes sociais, visualização de vídeos, fotos e navegação na web.

De acordo com o último item da seção “5.2.2 Estimativa de tráfego da rede”, avaliando o perfil do local e dos usuários, consideramos que a rede seria utilizada simultaneamente para acesso web por 40% dos usuários, por 20% dos clientes para chamadas VoIP e por outros 20% para visualização de streams de vídeos de até 720p de resolução. Estimativa do tráfego.

Ainda conforme item 5.2.2, o tráfego total da rede pode ser calculado multiplicando a taxa de transferência média de cada aplicação pelo número de usuários destas e somando com a taxa total consumida pelas demais aplicações. Utilizando os dados apresentados na seção citada, segue estimativa de tráfego para o cenário em questão:

- Tráfego da rede = (4*acesso web) + (2*chamadas VoIP) + (2*vídeo 720p)

- Tráfego da rede = $(4 \cdot 285,4\text{Kbps}) + (2 \cdot 80\text{Kbps}) + (2 \cdot 2500\text{Kbps})$
- Tráfego da rede = $1141,6\text{Kbps} + 160\text{Kbps} + 5000\text{Kbps}$
- Tráfego da rede = $6301,6\text{Kbps}$;

O tráfego da rede é estimado em $6301,6\text{Kbps}$. Aplicando 15% de margem de segurança sobre este valor, obtemos o tráfego total da rede estimado em $7246,84\text{Kbps}$.

Apesar do levantamento feito acima, o valor de taxa de transferência limitado por usuário no AP foi de 2875Kbps , contemplando 2500Kbps necessários para visualização de stream de vídeos a 720p + 375Kbps referente aos 15% de margem de segurança.

6.1.3 Estudo de ambiente e de cobertura desejada

A Figura 26 apresenta a planta baixa do ambiente aonde a rede Wi-Fi deve ser implantada. Trata-se de um esboço dos limites geográficos que a rede deve atender.

Como definido na metodologia proposta, na planta baixa foram anotados os materiais das paredes e de outras possíveis barreiras para propagação do sinal. Esta anotação pode ser vista na figura 26, observando a legenda desta figura.

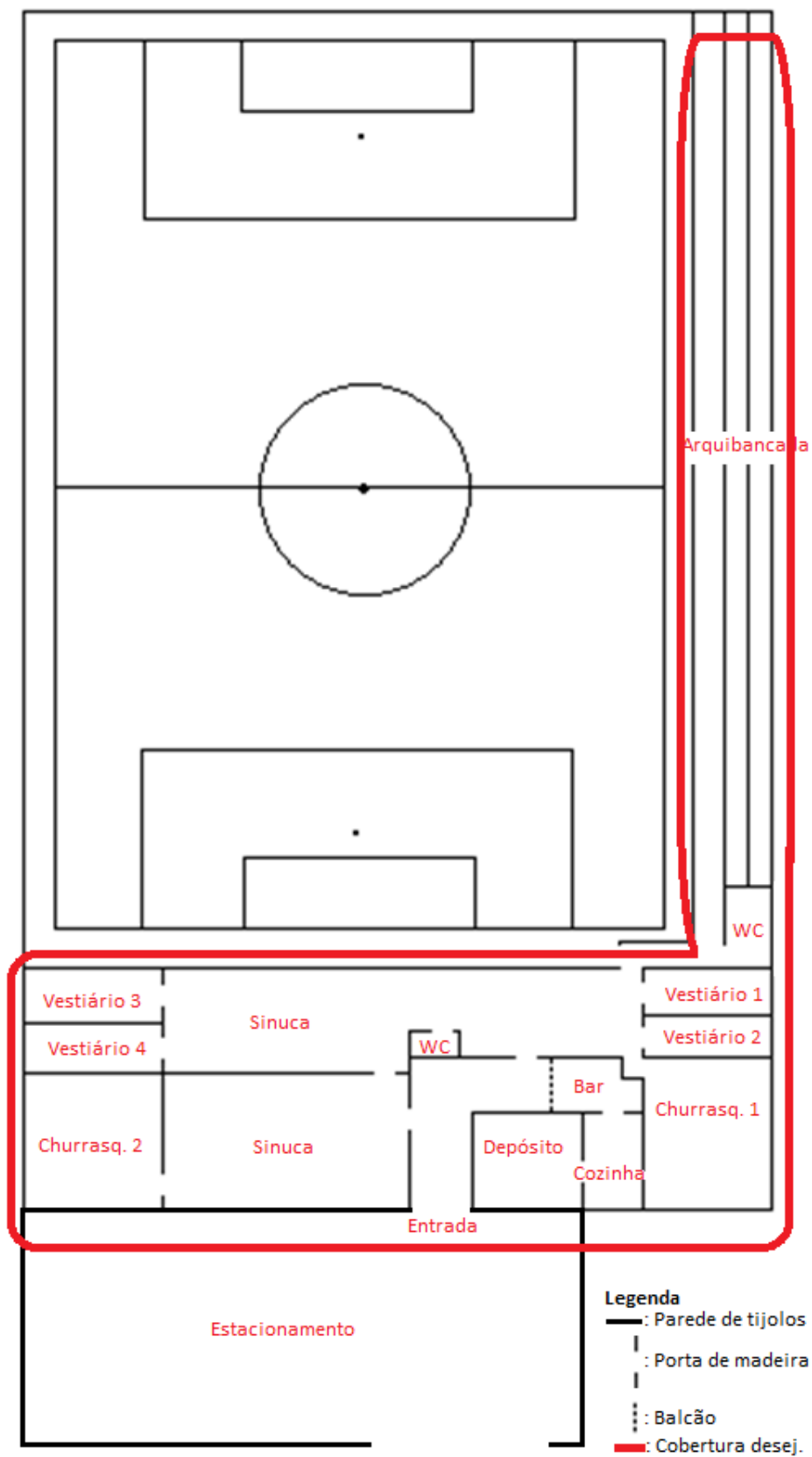


Figura 26 - Planta baixa com cobertura desejada

6.1.4 Estudo de infraestrutura de rede e elétrica

Diante da inexistência de uma planta da rede elétrica e da rede de dados, durante a visita ao local foi observada a presença de pontos de rede elétrica e de rede de dados cabeada que possam ser utilizados. Na mesma planta baixa usada anteriormente, foram marcados os pontos de presença de rede elétrica e de rede de dados cabeada. Esta marcação pode ser vista na Figura 27.

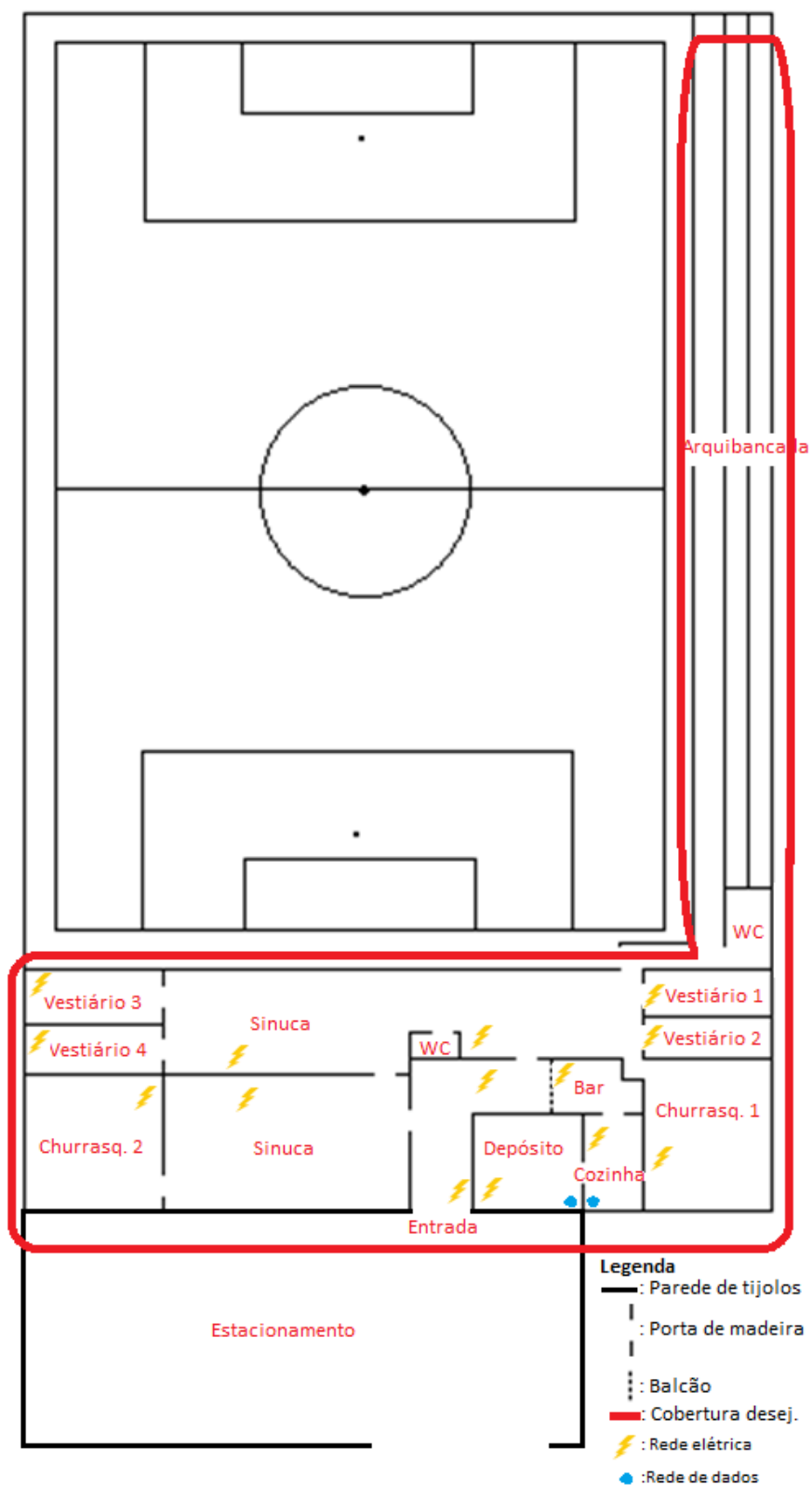


Figura 27 – Planta baixa com cobertura desejada e infraestrutura existente

6.1.5 Identificação de fontes de interferência

Já tendo a planta baixa do local com marcação de cobertura desejada de rede sem fio, barreiras de atenuação de sinal, infraestrutura de rede de dados e rede elétrica. Nesta etapa buscou-se identificar fonte de interferência como possível presença de fornos de micro-ondas, telefones sem fio, motores e outros Access Points. Não foram identificados nenhum destes elementos na área de cobertura da rede.

6.1.6 Definição de Requisitos do APs

Nesta etapa são definidos os requisitos técnicos dos Access Points como: segurança, mecanismos de qualidade de serviço, potência de sinal e padrão 802.11b, g ou n.

6.1.6.1 Definições de Segurança

As definições de segurança definem que os APs deverão oferecer autenticação e segurança através da técnica WPA2, conferindo a confiabilidade mínima necessária para a aplicação em questão.

6.1.6.2 Mecanismos de Qualidade de Serviço

Conforme avaliado na seção “5.2.2 Estimativa de tráfego de rede”, a rede deverá atender até 10 usuários simultâneos e ser capaz de oferecer 2875Kbps de taxa máxima de recebimento por usuário.

Os APs devem oferecer suporte à limitação do número de usuários e de limitação de banda de download consumida por cada cliente da rede, permitindo nos APs a taxa máxima de recebimento de 2875Kbps para cada usuário.

Visando priorizar o encaminhamento de pacotes de voz, outra diretriz definida é a compatibilidade dos equipamentos com recursos de WMM, oferecendo melhor desempenho para o tráfego de voz.

6.1.6.3 Potência de sinal

De acordo com a tabela 11 da seção “5.2.6.3 Potência de sinal”, o nível mínimo de sinal para oferecer a velocidade necessária de 2875Kbps para atender aos requisitos definidos da rede gira em torno de -86 dBm. Portanto, todos os pontos geográficos dentro da área que deve ser compreendida pela rede sem fio devem apresentar nível de sinal igual ou melhor que -86 dBm.

Considerando a teoria apresentada, as distâncias e principalmente as barreiras existentes no local, é possível calcular que um AP padrão com 16 dBm de potência de transmissão poderia atender ao projeto ainda com margem de segurança.

Em seguida, passa-se a identificação do pior caso. O AP estaria instalado dentro do depósito, onde poderiam ser contadas até 7 paredes de tijolos entre o AP e um ponto específico dentro da área de cobertura pretendida para a rede sem fio. Destas paredes, 4 contam com mobília. Considerando que cada parede de tijolo atenua o sinal em até 10 dB e que juntas as mobílias adicionam mais 8 dB de atenuação, temos o cálculo:

- Sinal = Potência de tx + ganho da antena - perda de sinal + ganho da antena rx
- Sinal = 16 dBm + 5 dBi - 70 dB - 8 dB + 5 dBi
- Sinal = -52 dBm

Concluimos que no ponto mais crítico, utilizando antenas de 5 dBi na origem e no destino, AP com 16 dBm de potência de transmissão e ambiente com atenuação de até -78 dB, teríamos um sinal de pelo menos -52 dBm.

6.1.6.4 Escolha entre 802.11b, 802.11g ou 802.11n

Segundo critérios técnicos, os APs devem ser compatíveis com o padrão 802.11n, que além de oferecer capacidade de atender ao tráfego estimado na seção “6.1.2 Estimativa de Tráfego da Rede”, o padrão 802.11n é o mais moderno e oferece as melhores taxas de transferência.

6.1.6.5 Escolha do AP que Atende aos Requisitos

Após execução de todos os levantamentos descritos na seção “6.1.6 Definição de Requisitos do APs”, foi escolhido realizar o projeto com o equipamento “Intelbras WIN 240 Roteador Wireless N 500 mW”, que possui as seguintes características:

- Interface wireless de até 150 Mbps operando dentro dos padrões IEEE802.11b/g/n;
- Funciona nos modos Roteador AP, Roteador Cliente AP (ClienteWISP), AP, Cliente, WDS e Modo Repetidor;
- 1 porta WAN RJ45 e 4 portas LAN RJ45;
- Potência de transmissão de até 500 mW (27 dBm) via hardware;
- Antena omnidirecional e removível com ganho de 5 dBi;
- QoS e WMM para priorização de aplicações de voz e vídeo;
- Controle de banda por IP;
- Segurança utilizando WEP de 64/128/152 bits, WPA/WPA2/WPA-PSK/WPA2-PSK com TKIP/CCMP;

Apesar do AP dispor de muito mais potência do que o necessário, o baixo custo e a presença de todos os recursos necessários estimularam a escolha.

6.2 Fase de Implantação

A seguir serão percorridas todas as etapas envolvidas da fase de implantação de redes sem fio.

6.2.1 Posicionamento dos Equipamentos

Com base na planta baixa e nas marcações realizadas na mesma durante as etapas da fase de projeto, os equipamentos foram posicionados e instalados nos locais onde se considerou que apresentariam o melhor funcionamento possível, levando em conta as variáveis “cobertura desejada”, “infraestrutura de rede de dados e rede elétrica” e “fontes de interferências”.

Foi escolhido instalar o AP dentro do “depósito”, devido além das variáveis listadas acima, a existência do espaço necessário e da estimativa de que o nível de sinal nos pontos críticos estaria dentro do planejado.

A Figura 28 apresenta a planta baixa anotada, agora com o posicionamento do AP. A figura 28 foi redimensionada para ocupar menos espaço, cortando parte do campo de futebol e da arquibancada.

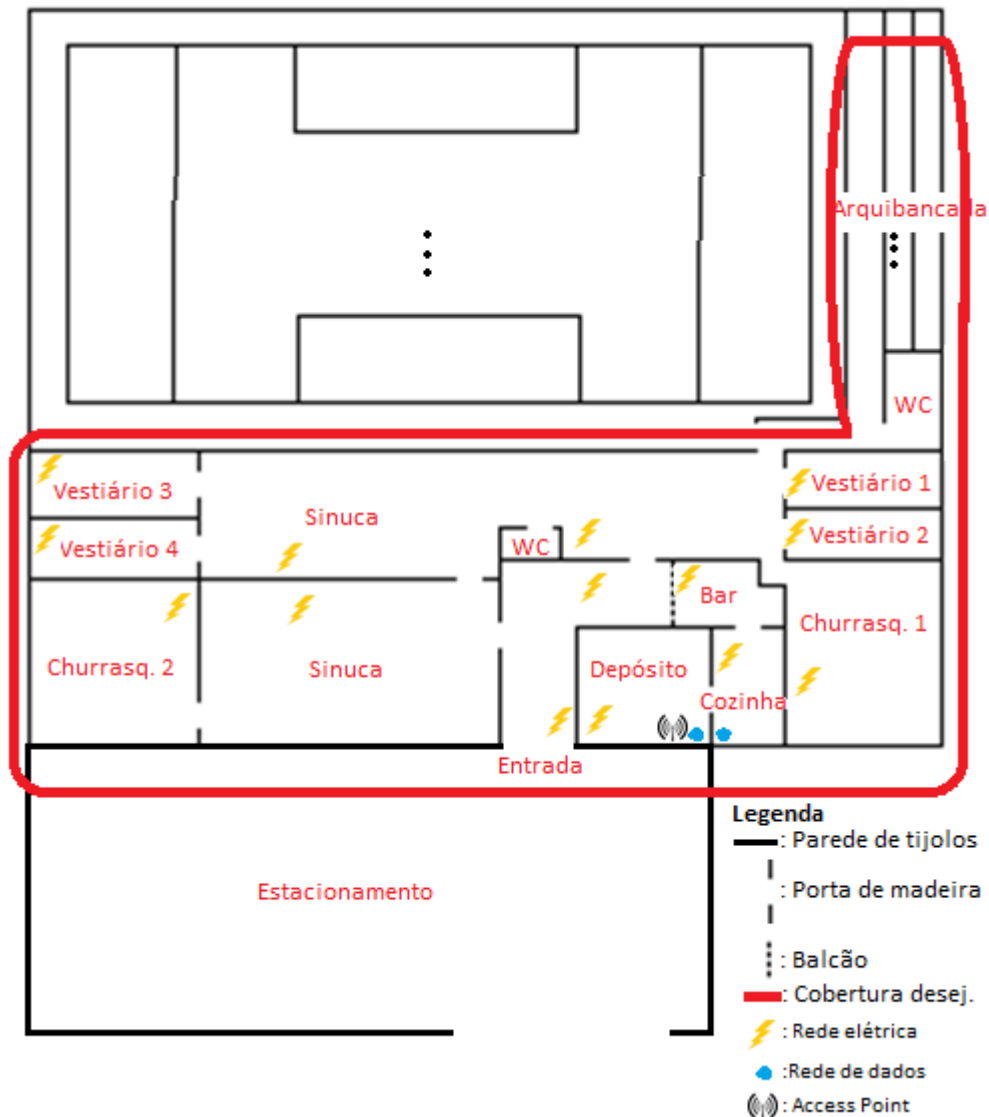


Figura 28 – Posicionamento inicial do AP

6.2.2 Estudo de Cobertura de Sinal

Nesta etapa foi utilizada uma ferramenta de Site Survey chamada TamoGraph. Este software é capaz de mostrar todas as redes wireless disponíveis com potência igual ou superior a -100 dBm e suas respectivas potências de sinal em determinado ponto geográfico, além de apresentar o canal de comunicação utilizado por cada rede, padrão Wi-Fi b/g/n, velocidade de transmissão e tipo de segurança utilizada.

O software foi instalado em um laptop e a área de cobertura da rede sem fio foi percorrida, realizando medições de nível de sinal disponível por diversos pontos da área.

Nenhum ponto apresentou nível de sinal abaixo de -86 dBm, caso isto ocorresse, o AP deveria ser reposicionado, a configuração de potência deveria ser aumentada ou o próprio equipamento deveria ser substituído por outro que atendesse às demandas do projeto.

Os locais das medições estão identificados na figura 29, com numeração de 1 a 10;

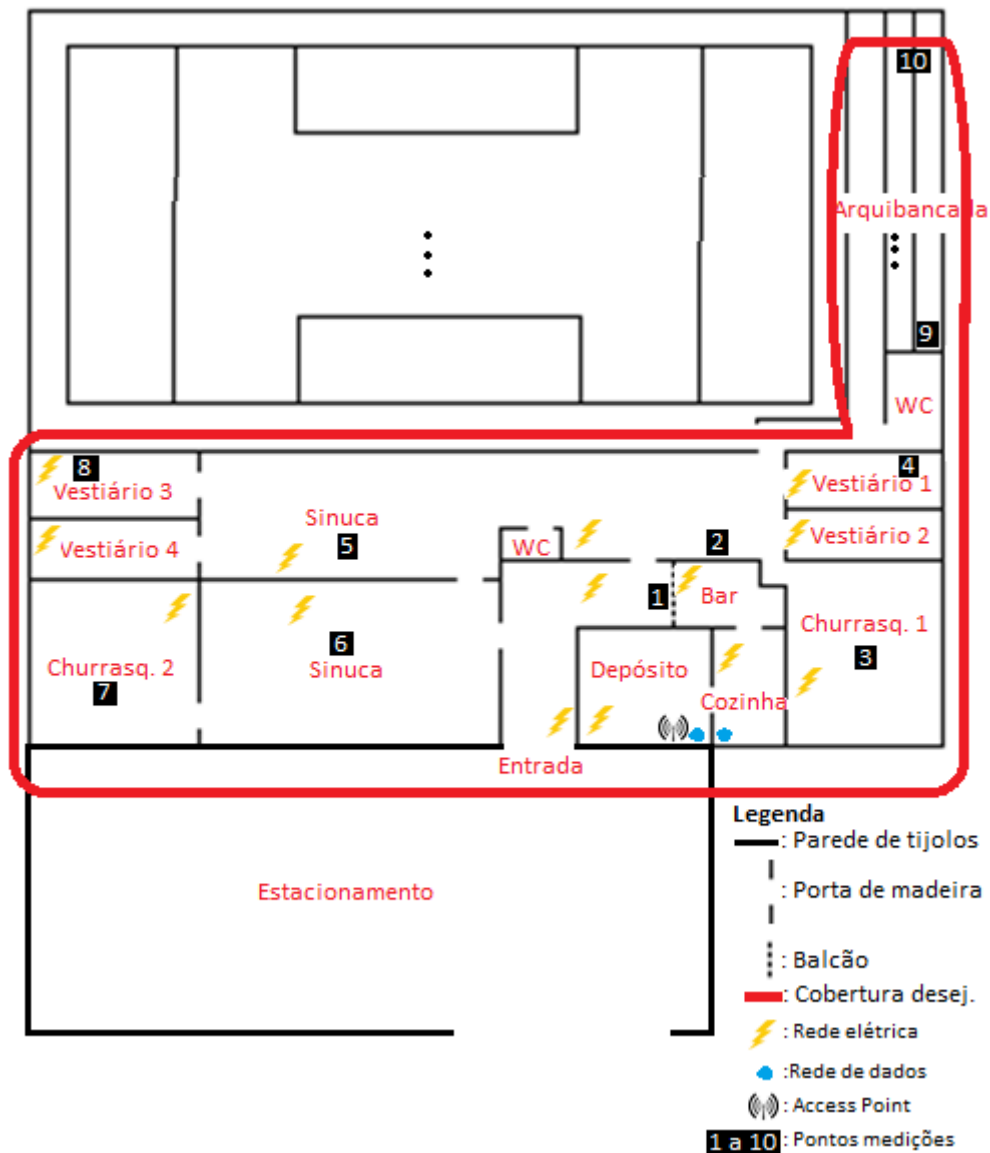


Figura 29 – Pontos das medições de sinal

A Tabela 13 apresenta a potência de sinal presente em cada ponto identificado na figura 29.

Ponto 1: -30 dBm	Ponto 6: -54 dBm
Ponto 2: -34 dBm	Ponto 7: -57 dBm
Ponto 3: -56 dBm	Ponto 8: -69 dBm
Ponto 4: -61 dBm	Ponto 9: -61 dBm
Ponto 5: -58 dBm	Ponto 10: -61 dBm

Tabela 13 – Potência de sinal presente em cada ponto

6.2.3 Estudo de frequências

Ainda utilizando o TamoGraph é possível identificar o canal de comunicação utilizado por cada rede presente no ambiente. A Tabela 14 apresenta a contagem de redes existentes em cada canal.

Canal 1: 9 redes	Canal 7: 1 rede
Canal 2: 1 rede	Canal 8: 0 rede
Canal 3: 1 rede	Canal 9: 0 rede
Canal 4: 0 rede	Canal 10: 0 rede
Canal 5: 1 rede	Canal 11: 10 redes
Canal 6: 6 redes	

Tabela 14 – Contagem de redes existentes

Na contagem apresentada na Tabela 14, o AP aqui utilizado já está incluso no total do canal 6. Conforme especificado na metodologia, deve-se manter pelo menos 5 canais de distância dos canais mais poluídos, assim sendo, é recomendável a utilização do canal 6.

6.2.4 Validação da Implantação

Nesta seção foi utilizado o software JPERF (2013) para realização das simulações. Esta ferramenta utiliza o conceito cliente/servidor, sendo capaz de produzir fluxos de dados TCP ou UDP, permitindo a configuração desejada de taxa de transferência, vazão e tamanho de pacotes. Ao final de cada teste o Jperf ainda informa o percentual de perda de pacote e jitter. Para encontrar o valor do atraso foi realizado ping entre o cliente e servidor.

De acordo com os levantamentos realizados na seção “5.3.4 Validação da Implantação”, toda a simulação de tráfego de voz deve ser realizada entre os 2 pontos que apresentaram pior qualidade de sinal, de modo que se o funcionamento observado for satisfatório nestes pontos, todo o resto da rede também estará devidamente atendida. O ponto 8 apresentou -69 dBm de sinal, sendo o local mais crítico, enquanto os pontos 4, 9 e 10 apresentam empate

em -61 dBm. A simulação de tráfego de voz deve ser realizada entre os pontos 8 e 4.

Em cada um dos locais indicados acima é posicionado um computador executando o Jperf, simulando o tráfego das chamadas VoIP que o sistema deve atender. Uma estação rodou o modo servidor, enquanto a outra rodou o modo cliente da ferramenta. No lado do cliente foram configurados os parâmetros que reproduzem o tráfego de 2 chamadas VoIP simultâneas, conforme abaixo:

- Protocolo: UDP
- Taxa de bits: 160Kbps
- Vazão: 100 pacotes por segundo
- Tamanho por pacote: 200 bytes

Ao final de cada teste o Jperf automaticamente informa o percentual de perda de pacote e jitter. Para obter o atraso é necessário realizar ping do cliente para o servidor durante toda a simulação.

Na seção “5.3.4” o tráfego total estimado para a rede foi de 6301,6Kbps, incluindo as chamadas VoIP que o sistema deve suportar, porém ainda sem a margem de segurança de 15%. Para encontrar o tráfego de fundo que devíamos reproduzir foi necessário subtrair do valor total a taxa consumida pelas chamadas VoIP, devido ao fato do tráfego destas já ter sido tratado no item anterior. Ou seja, $6301,6\text{Kbps} - 160\text{Kbps} = 6141,6\text{Kbps}$. A simulação de tráfego de fundo foi feita adicionando a margem de segurança de 15%, resultando em 7062,84Kbps. Outras duas estações posicionadas em local com ótima qualidade de sinal foram utilizadas, uma executando o modo servidor do Jperf e a outra o modo cliente. No lado cliente foram configurados os parâmetros que reproduzem o tráfego de fundo da rede:

- Protocolo: TCP
- Taxa de bits: 7062,84Kbps

O cenário descrito acima foi mantido em execução durante três minutos, que é o tempo médio de duração de uma chamada telefônica.

A figura 30 mostra a configuração do Jperf em modo cliente onde é simulado o tráfego total da rede:

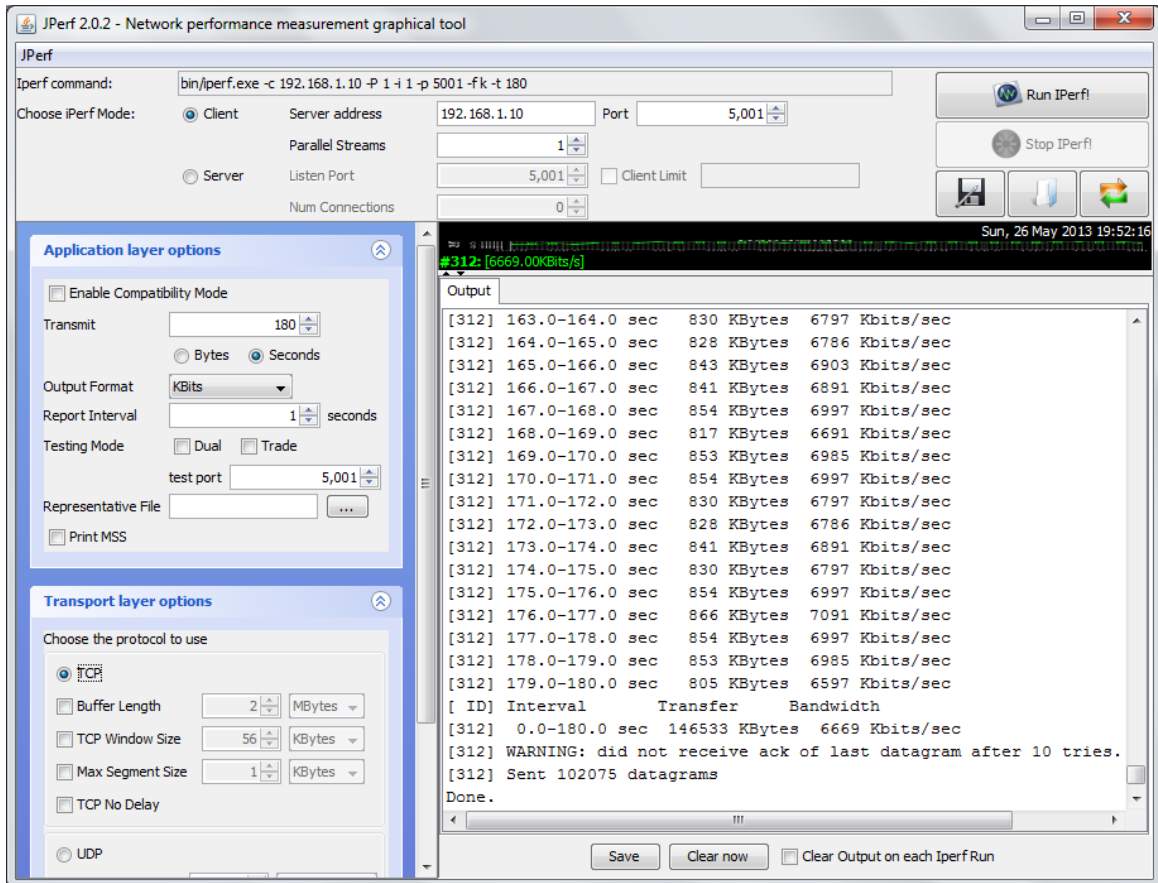


Figura 30 – Simulação tráfego de fundo

A figura 31 mostra a configuração do Jperf em modo cliente onde é simulado o tráfego das duas chamadas VoIP:

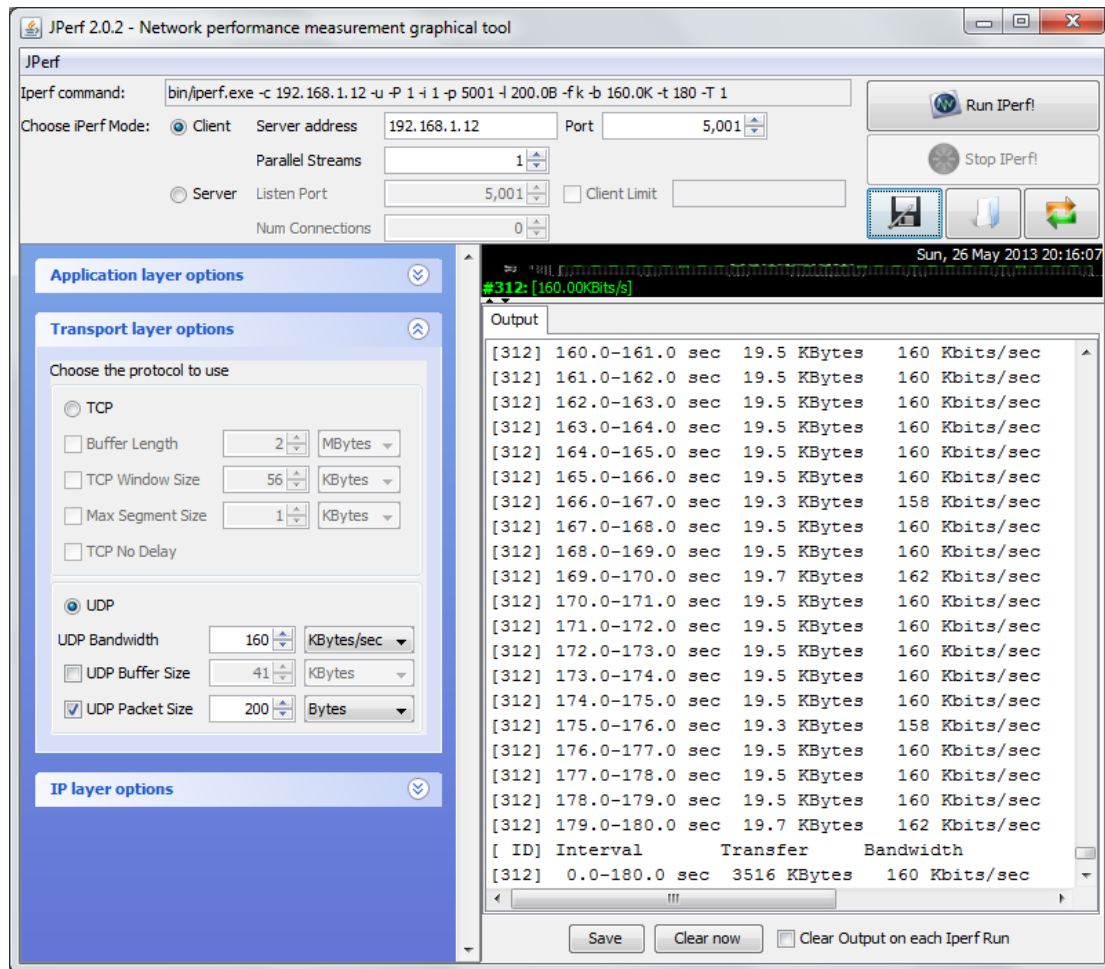


Figura 31 – Simulação chamadas VoIP

A figura 32 mostra o ping que foi realizado simultaneamente à simulação das chamadas VoIP, afim de obter o valor de atraso na comunicação:

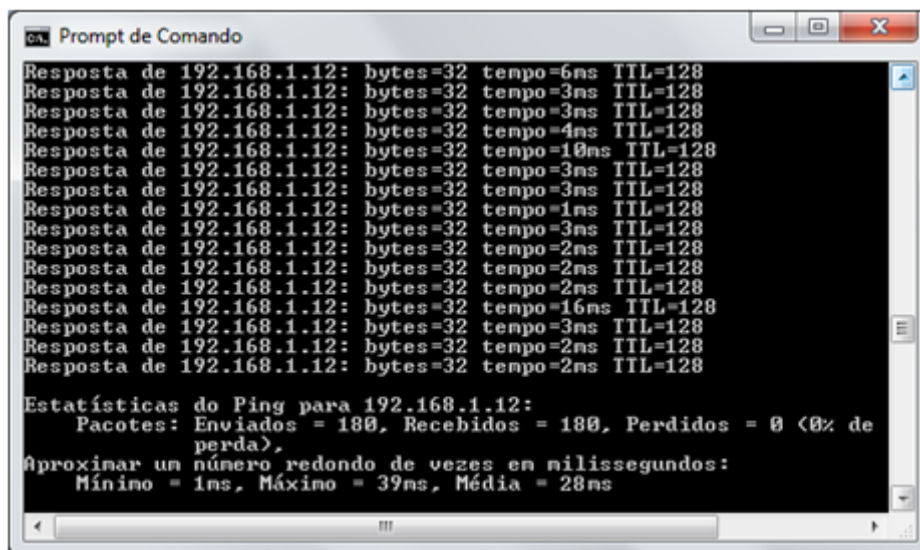


Figura 32 – Ping

A Figura 33 apresenta os resultados da simulação do tráfego de voz através do Jperf:

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[112]	0.0- 1.0 sec	19.7 KBytes	162 Kbits/sec	0.844 ms	0/ 100 (0%)
[112]	1.0- 2.0 sec	19.5 KBytes	160 Kbits/sec	0.440 ms	0/ 100 (0%)
[112]	2.0- 3.0 sec	19.3 KBytes	158 Kbits/sec	0.374 ms	0/ 99 (0%)
...					
[112]	177.0-178.0 sec	19.5 KBytes	160 Kbits/sec	0.567 ms	0/ 100 (0%)
[112]	178.0-179.0 sec	19.5 KBytes	160 Kbits/sec	1.908 ms	0/ 100 (0%)
[112]	0.0-180.0 sec	3516 KBytes	160 Kbits/sec	6.248 ms	338/18000 (1,87%)

Figura 33 – Resultado Jperf

O resultado observado na figura 33 apresenta os valores para as variáveis jitter e perda de pacotes. O valor do atraso foi obtido da figura 32.

- Jitter: 6,248 ms
- Perda de pacotes: 1,87%
- Atraso: 28 ms

Dado que os valores coletados para as variáveis atraso, perda de pacotes e jitter, estejam dentro dos limites classificados dentro da categoria de qualidade “Alto”, conforme a tabela 12, a rede é considerada validada para tráfego de voz. Isto pois o atraso deveria ser inferior a 250ms, perda de pacotes de até 3% e a variação de atraso não poderia ultrapassar 75 ms.

6.2.5 Possíveis Ajustes de Posicionamento, Configurações ou Especificação de Equipamentos

A rede projetada neste trabalho não necessitou de ajustes para atender aos requisitos técnicos que afetam a qualidade do tráfego de voz, assim sendo, a rede já se encontrou apta para utilização de VoIP.

6.3 Comparativo Com e Sem Utilização de QoS

Nesta seção foram realizados experimentos práticos comparando o desempenho de tráfego de fluxos de dados com e sem a utilização de QoS. Primeiramente foram produzidos dois fluxos de dados, um com e outro sem marcação QoS, porém com a função de priorização através de QoS desabilitada no AP. Posteriormente foi feito o aposto, ativando o recurso de QoS e produzindo novamente os dois mesmos fluxos de dados. A análise dos resultados mostra a alteração de desempenho.

6.3.1 Sem QoS

Primeiramente foi desativada a função QoS no AP, para que todos os pacotes fossem tratados igualmente, por ordem de chegada.

Foi utilizada a ferramenta Jperf para produzir um fluxo UDP, sem marcação de categoria de pacotes, durante 60 segundos entre a máquina cliente e a servidora. O equipamento cliente foi configurado para produzir um fluxo de dados de 12MB por segundo, tentando congestionar a rede, conforme a figura 34.

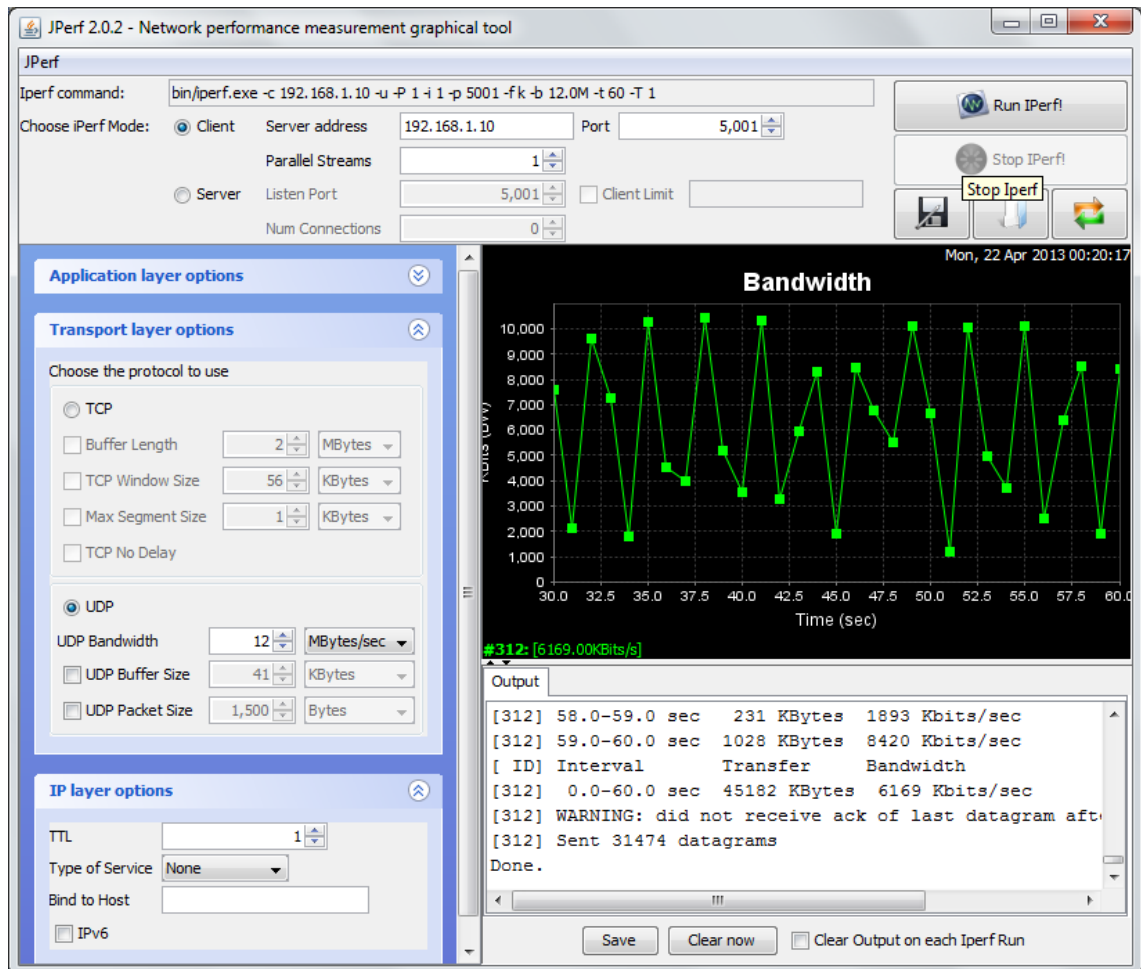


Figura 34 – Fluxo UDP sem marcação sem QoS

Simultaneamente ao processo descrito acima, os mesmos dois computadores executaram o software TAMOSOFT THROUGHPUT TEST (2013), que é outro software baseado em modelo cliente/servidor, capaz de gerar fluxos de dados TCP e UDP, porém com a possibilidade de realizar marcação de categoria de pacote. A figura 35 apresenta um exemplo de pacote de rede marcado com categoria diferenciada para priorização através de QoS.

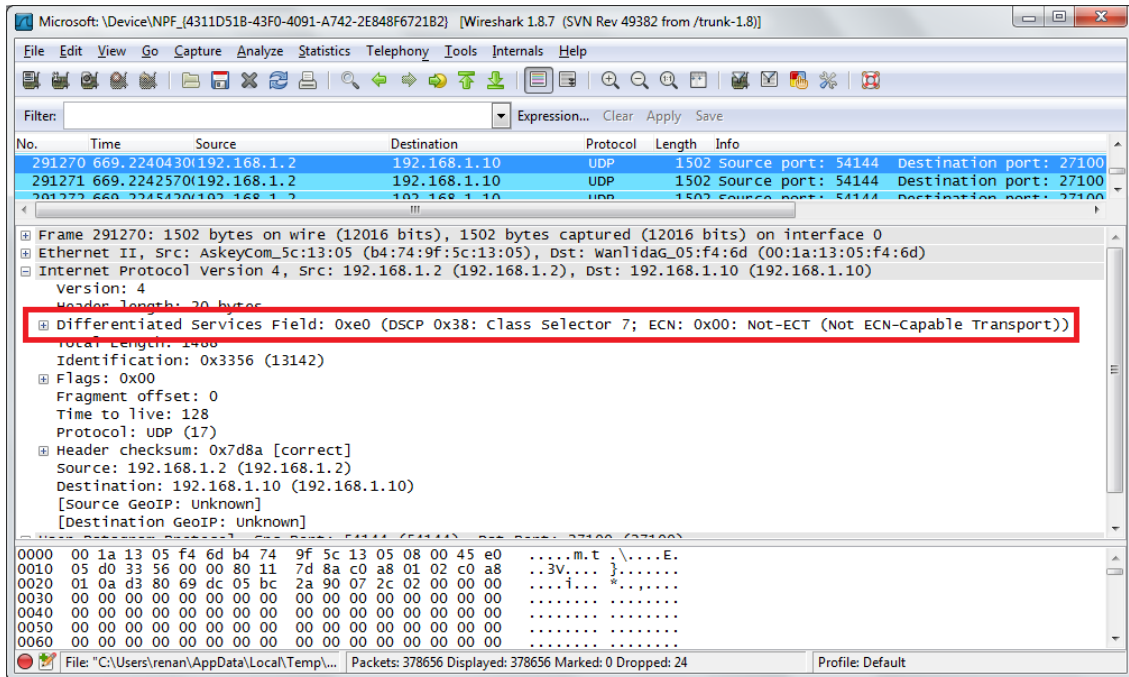


Figura 35 – Exemplo de pacote marcado

O TamoSoft Throughput Test permite apenas selecionar o tipo de marcação que será realizada no pacote. Quando o software é ativado, ele automaticamente tenta alcançar a maior taxa de transferência possível entre o cliente e o servidor, apresentando os resultados conforme figura 36:

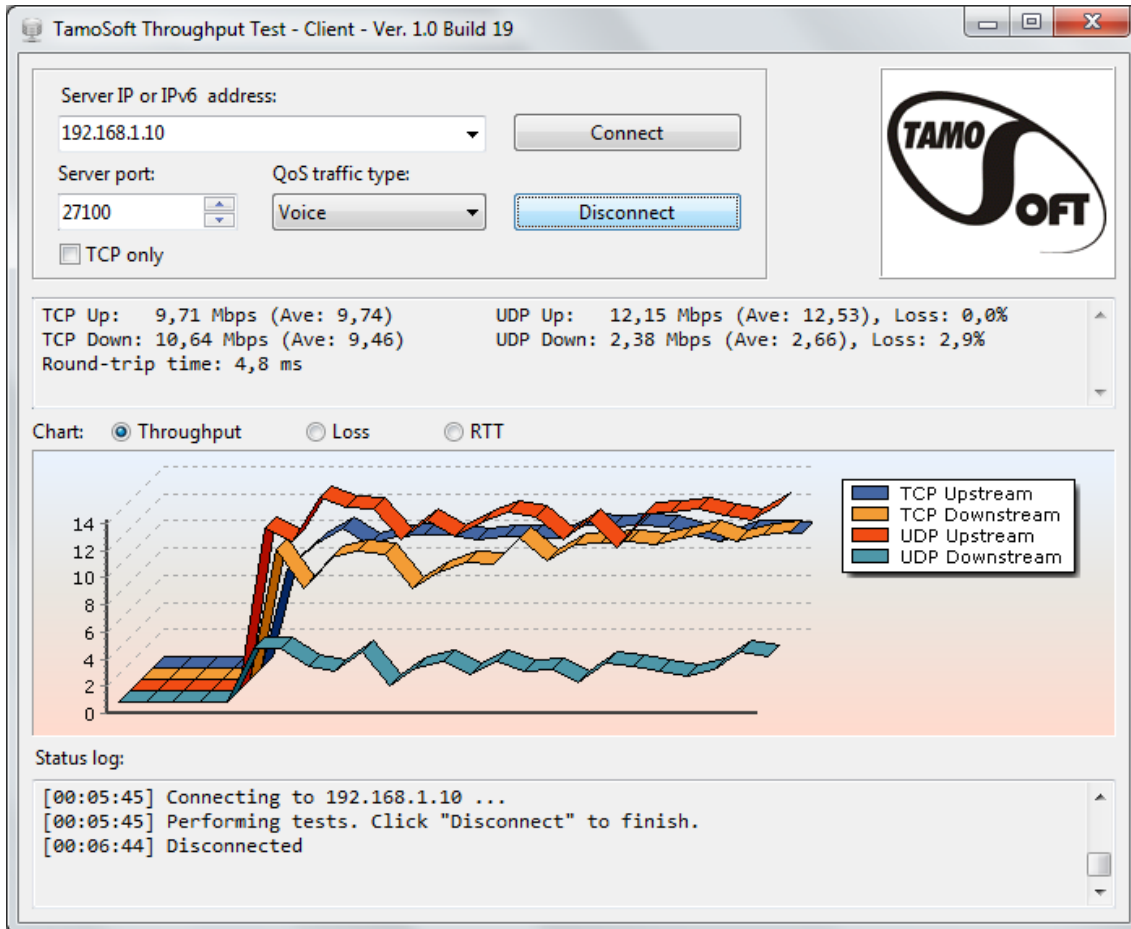


Figura 36 – Fluxo UDP com marcação sem QoS

Os resultados obtidos foram:

- Fluxo de dados UDP sem marcação:

Taxa de transferência atingida entre máquina cliente e máquina servidora:
6169 Kbits/sec

- Fluxo de dados UDP com marcação:

Taxa de upload TCP entre máquina cliente e máquina servidora: 9,74MB

Taxa de download TCP entre máquina cliente e máquina servidora: 9,46MB

Taxa de upload UDP entre máquina cliente e máquina servidora: 12,53MB

Taxa de download UDP entre máquina cliente e máquina servidora: 2,66MB

6.3.2 Com QoS

Nesta etapa o recurso de QoS foi reativado, permitindo que os pacotes sejam encaminhados de forma diferenciada, de acordo com sua marcação de prioridade.

Da mesma forma como foi apresentado na figura 32, o Jperf foi configurado para produzir um fluxo de dados, sem marcação de pacote, de 12MB por segundo.

Conforme figura 37, o TamoSoft foi executado novamente, gerando o fluxo de pacotes marcados.

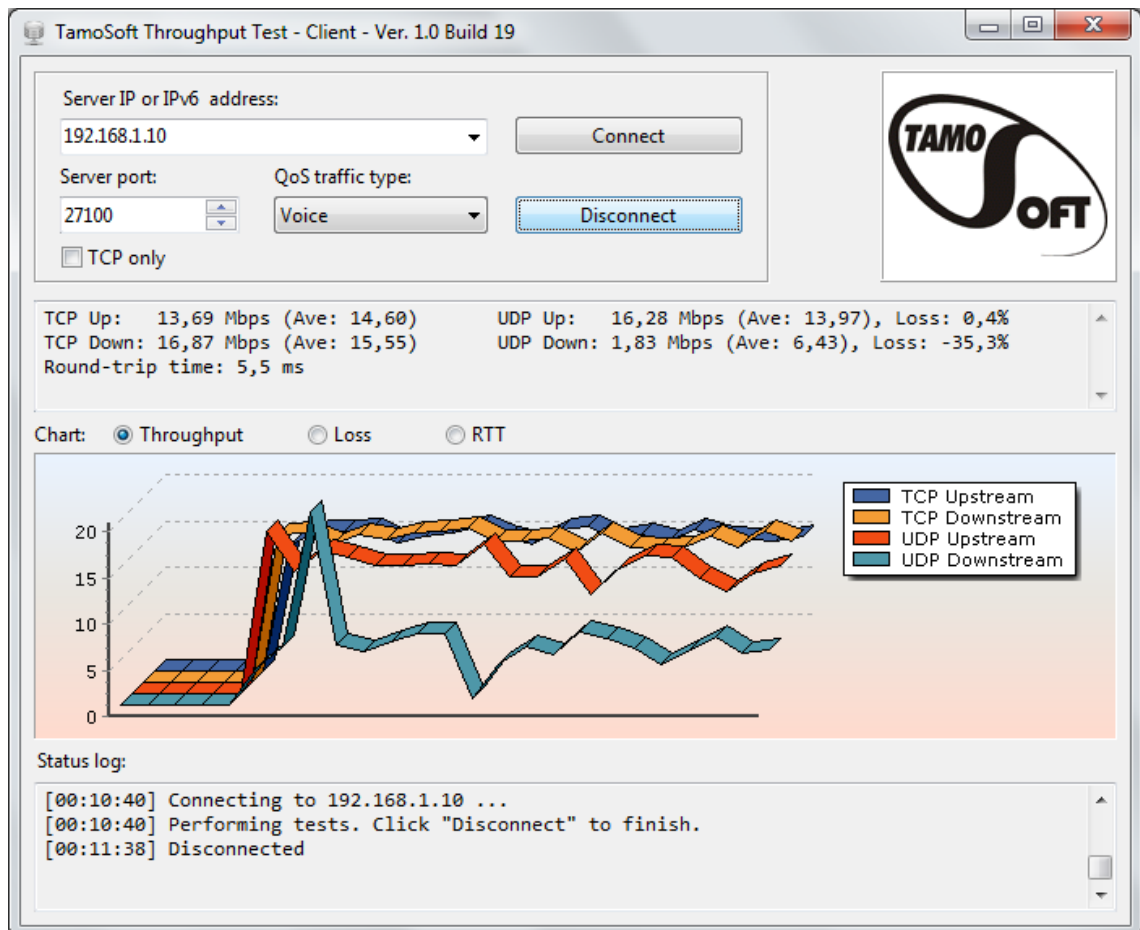


Figura 37 – Fluxo UDP com marcação com QoS

Os resultados obtidos foram:

- Fluxo de dados UDP sem marcação:

Taxa de transferência atingida entre máquina cliente e máquina servidora:
5906 Kbits/sec

- Fluxo de dados UDP com marcação:

Taxa de upload TCP entre máquina cliente e máquina servidora: 14,59 MB

Taxa de download TCP entre máquina cliente e máquina servidora: 15,96 MB

Taxa de upload UDP entre máquina cliente e máquina servidora: 13,57 MB

Taxa de download UDP entre máquina cliente e máquina servidora: 6,14 MB

6.3.3 Análise dos Resultados

Buscando facilitar a análise e evidenciar as conclusões, a tabela 15 apresenta os resultados consolidados.

Tipo de fluxo	Desempenho	Sem QoS	Com QoS	% Variação
Fluxo sem marcação QoS	Taxa de transferência atingida	6169 Kbps	5906 Kbps	-4,26%
Fluxo com Marcação QoS	TCP Upload	9,74 MB	14,59 MB	+49,79%
	TCP Download	9,46 MB	15,96 MB	+68,71%
	UDP Upload	12,53 MB	13,57 MB	+8,30%
	UDP Download	2,66 MB	6,14 MB	+130,82

Tabela 15 – Comparação de Desempenho Com e Sem QoS

Analisando os resultados é possível afirmar que a utilização de QoS melhorou significativamente o desempenho do fluxo marcado com alta prioridade de encaminhamento de pacotes. Em contrapartida, houve uma pequena queda no desempenho do fluxo sem marcação dos pacotes, indicando que o AP realmente deu menos prioridade ao encaminhamento dos dados deste tipo.

7 Conclusões, Limitações e Trabalhos Futuros

O presente estudo incentivou a realização de um amplo levantamento bibliográfico sobre o tema, possibilitando o entendimento das diversas variáveis que afetam a qualidade do tráfego de voz em redes sem fio, permitindo a definição de uma metodologia especialmente desenhada para tal aplicação, listando os passos envolvidos na implantação de redes sem fio, formas de validar o funcionamento satisfatório e prevendo possíveis ajustes para alcançar o nível almejado de qualidade.

Foi realizado um estudo de caso onde a metodologia definida foi utilizada no projeto de uma rede sem fio, percorrendo todos os passos previstos desde o projeto até a implantação da rede, culminando nas simulações de tráfego, coletas de dados e por último na avaliação das métricas de resultado.

Adicionalmente ao estudo de caso foi realizado um estudo comparativo de desempenho de tráfego de fluxos de dados com e sem a utilização de QoS, onde pudemos observar um significativo aumento de desempenho nos fluxos de dados que contavam com marcação QoS quando priorização de encaminhamento estava devidamente habilitada no AP.

O trabalho possui limitações, como por exemplo, na seção “5.2.6.3 Potência de sinal” é apresentada uma tabela que relaciona nível de sinal x taxa de transferência. Esta tabela é diretamente utilizada na metodologia proposta. Durante a realização do próprio estudo de caso foi observado que dispositivos diversos apresentam desempenhos bastantes distintos mesmo que em cenários semelhantes. Para resolver tal limitação, seria possível criar uma etapa de calibração dos equipamentos envolvidos, medindo o real desempenho de cada dispositivo para que as estimativas e cálculos sejam mais os precisos possíveis.

Como trabalho futuro é possível apontar a necessidade de desenvolvimento de uma ferramenta unificada que conte com todos os recursos que tivemos que buscar em 4 softwares distintos, facilitando e agilizando as etapas onde é necessário o uso destes softwares. Esta nova ferramenta poderia unir a possibilidade de definir detalhadamente os parâmetros dos fluxos de dados,

assim como existe no Jperf, porém com a opção de realizar marcação de pacotes, conforme o TamoSoft Throughput Test. Ao final de cada teste, esta ferramenta poderia apresentar o valor do atraso, jitter e perda de pacotes, dispensando a utilização do ping. E para eliminar a necessidade do TamoSoft Site Survey, a nova ferramenta deveria mostrar o canal de comunicação utilizado por cada rede presente no ambiente, bem como a potência de sinal disponível de cada rede em determinados pontos geográficos percorridos por um computador móvel executando o software. Esta nova ferramenta também poderia simular cenários de operação em termos de tráfego de rede, ajudando na validação da rede de acordo com o cenário escolhido pelo usuário.

Referências

TANENBAUM, A. S. *Redes de Computadores*. 4. ed. Rio de Janeiro: Campos, 2003.

HERSENT, O., GUIDE, D., PETIT, J., *Telefonia IP – Comunicação Multimídia Baseada em Pacotes*. Addison Wesley. São Paulo 2002.

KUROSE, James F., ROSS, Keith, W., *Redes de Computadores e a Internet*. 5a ed. Pearson. São Paulo 2010.

BORGES, R. S., *Validação de redes de dados para serviços VoIP – Trabalho de conclusão de Curso Universidade Federal de Santa Catarina*. Florianópolis 2012.

ANDRADE, R. M., *Sistemas VoIP em redes sem fio IEEE 802.11 - Trabalho de conclusão de Curso Universidade Federal de Santa Catarina*. Florianópolis 2011.

SINNREICH, H., JOHNSTON, A. B., *Internet Communications Using SIP: Delivering VoIP and Multimedia Services with Session Initiation Protocol*. 2 ed. Wiley Publishing, Inc. Indianapolis. 2006.

KUMAR, V., KORPI, M., SENGODAN, S., *IP Telephony with H.323 Architectures for United Networks and Integrated Services*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 2001.

TELECO. VoIP / Telefonia IP – Tecnologias. Acessado em 16/10/12, site <http://www.teleco.com.br/tecvoip.asp>

KELLY, T., *VoIP for Dummies*. Wiley Publishing, Inc. Indianapolis, 2005.

ITU-T G.107. The E-model: a computational model for use in transmission planning. Acessado em 28/11/12, site <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107-201112-l/en>

IEEE 802.11. IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks. Acessado em 15/01/13, site <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>

TORRES, Gabriel. Redes de Computadores. Axcel Books. Rio de Janeiro, 2001.

TORRES, Gabriel. Redes de computadores. Rio de Janeiro: Novaterra, 2009.

ARUBA NETWORKS. Bringing QoS Over Wireless LAN Into Focus. Aruba Networks Inc. California, 2011.

freeRADIUS. FreeRADIUS is the most widely deployed RADIUS server in the world. Acessado em 08/05/08, site <http://freeradius.org>

MATTOS, Guilherme. Redes de Acesso em Banda Larga utilizando Sistemas VSAT e Wi-Fi. PUC Rio de Janeiro, 2006.

BEURAN, R. VoIP over Wireless LAN Survey. Japan Advanced Institute of Science and Technology, 2006.

MARX, A., T. Do Projeto à Implantação de Redes Sem Fio: Um Estudo de Caso. Universidade do Oeste de Santa Catarina, Campus de São Miguel do Oeste, 2008.

NETSTUMBLER. Wireless Network Tool. Acessado em 08/05/08, site www.stumbler.net

CONCEICAO, A., F., LI, J., FLORENCIO, D., A. Transmissão de voz sobre redes IEEE 802.11: um levantamento dos principais problemas e restrições. Instituto de Matemática e Estatística - Universidade de São Paulo, Communication and Collaboration Systems Microsoft Research, 2006.

TELCHEMY. Managing Wireless LANs & Wi-Fi Services - VoIP Performance Management. Suwanee, 2005.

SHIN, S., SCHULZRINNE, H. Towards the Quality of Service for VoIP traffic in IEEE 802.11 Wireless Networks. Department of Computer Science Columbia University, 2008.

SUPPORT GOOGLE. Configurações, taxas de bits e resoluções do codificador ao vivo. Acessando em 05/05/2013 às 21:08h, site <http://support.google.com/youtube/bin/answer.py?hl=pt-BR&answer=2853702>

NAJNUDEL, Marcelo. Estudo de Propagação em Ambientes Fechados Para o Planejamento de WLANs. PUC Rio de Janeiro, 2004.

COOVACHILLI. CoovaChilli open-source software access controller, based on the popular ChilliSpot project, and is actively maintained by an original ChilliSpot contributor. Acessado em 08/05/08, site <http://coova.org/CoovaChilli>.

MORIMOTO, C. E., Redes wireless: Calculando a potência de transmissão e de recepção. Acessado em 12/05/2013, site <http://www.hardware.com.br/tutoriais/calculando-potencia-wireless/>

ETSI. Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS). França, 1998.

HTTP ARCHIVE. Average Bytes per Page by Content Type. Acessado em 15/05/2013, site <http://httparchive.org/interesting.php#bytesperpage>

TAMOGRAPH. TamoGraph Site Survey Help Documentation Version 3.1. Acessado em 19/05/2013, site www.tamos.com

RFC 3393. IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics. Acessado em 06/06/13, site <http://www.ietf.org/rfc/rfc3393.txt>

JPERF. Graphical frontend for IPERF written in Java. Acessado em 11/06/13, site <https://code.google.com/p/xjperf/downloads/detail?name=jperf-2.0.2.zip&can=2&q=>

TAMOSOFT THROUGHPUT TEST. TamoSoft® Throughput Test. Acessado em 11/06/13, site <http://www.tamos.com/products/throughput-test/>

Apêndice

ANEXO 1 – Metodologia de Implantação de Redes Sem fio Considerando Requisitos de Tráfego de Voz

Metodologia de Implantação de Redes Sem Fio Considerando Requisitos de Tráfego de Voz

Renan José dos Santos

Departamento de Informática e Estatística

Florianópolis, SC – Brasil

renanfloripa@gmail.com

***Abstract.** Observing the unavailability of a methodology for deploying wireless networks widely accepted and that takes into account the requirements for voice traffic, this work aims to conduct an analysis of the problem of maintaining voice quality on Wi-Fi networks and propose a deployment methodology for Wi-Fi networks considering network requirements for voice traffic.*

***Resumo.** Observando a inexistência de uma metodologia de implantação de redes sem fio amplamente aceita e que leve em consideração os requisitos do tráfego de voz, este trabalho visa realizar uma análise da problemática de manutenção de qualidade de voz em redes Wi-Fi e a proposição de uma metodologia de implantação de redes Wi-Fi considerando os requisitos de rede para o tráfego de voz.*

1. Introdução

Geralmente as redes sem fio são desenhadas e implantadas sem que antes seja feito um estudo adequado do ambiente em questão, da demanda esperada, do nível mínimo de qualidade que deverá ser oferecido, de planejamento e suporte para futuras ampliações. Este cenário geralmente acarreta em um sistema ineficiente de dados sem fio, apresentando baixa ou simplesmente nenhuma qualidade nos serviços disponibilizados, por vezes inviabilizando o bom funcionamento de alguns recursos disponíveis na Internet, como exemplos chamadas VoIP, vídeo chamadas, vídeo e áudio streaming.

Com o intuito de evitar falhas e indisponibilidades em futuras instalações de redes Wi-Fi, aqui serão realizados os estudos e testes necessários para que seja definida uma metodologia de implantação de redes sem fio com garantia de funcionamento satisfatório de serviços VoIP, levando em consideração todas as variáveis que afetam a

qualidade e inteligibilidade de ligações telefônicas deste tipo e também considerando características relativas ao ambiente em questão.

2. VoIP

A tecnologia Voz Sobre IP (VoIP) foi desenvolvida para utilizar as redes de dados baseadas em protocolo IP (Internet Protocol) para transmissão de chamadas telefônicas.

O sistema telefônico convencional, ou telefonia comutada, é hoje a mais extensa e abrangente rede de comunicação no mundo. Este sistema permite fechar um canal de comunicação entre dois pontos dentre os bilhões de terminais que atualmente fazem parte desta rede.

2.1 Telefonia Convencional

Buscando otimizar a utilização dos meios de transmissão, diversas chamadas podem ser multiplexadas em um único meio físico através da técnica chamada de TDM (time division multiplexing). Nesta técnica, um mesmo meio de transmissão é ocupado por diversos canais de comunicação de forma alternada, onde cada canal de voz tem exatamente sua fração de tempo para utilizar o meio físico e permitindo assim o compartilhamento dos recursos por diversas chamadas simultâneas.

Conforme TELECO (2005) é possível listar algumas vantagens do sistema telefônico convencional em relação ao sistema de voz sobre IP:

- Rede mais abrangente em todo o mundo;
- Alta confiabilidade e disponibilidade;
- Qualidade de comunicação é usada como padrão para os demais tipos de comunicação;

Por outro lado, o sistema telefônico convencional também apresenta desvantagens:

- Canal de comunicação fica alocado mesmo durante períodos de silêncio;
- Serviço apresenta alto custo perante as operadoras de telefonia;

A tecnologia VoIP oferece algumas vantagens em relação ao sistema telefônico convencional:

- Redução de custos com chamadas telefônicas, principalmente com chamadas de longa distância;
- Convergência com outros serviços, utilizando redes e equipamentos já existentes;
- Mobilidade para acessar o serviço de qualquer lugar onde exista a estrutura necessária;
- Otimização e compartilhamento de recursos;

Desvantagens do VoIP em relação ao sistema telefônico convencional:

- Mais suscetível à falha devido à grande quantidade de variáveis envolvidas na comunicação;
- Sujeito à jitter, atraso e perda de pacotes, assim como qualquer pacote que trafega em redes de dados;
- Para que funcione, depende da disponibilidade de energia elétrica;

2.2 Protocolo de Sinalização SIP

Para o estabelecimento de uma chamada VoIP, é necessário o uso de um protocolo de sinalização.

As principais funções dos protocolos de sinalização são:

- Localizar um usuário ou uma estação específica;
- Fazer contato com este usuário ou estação para negociar o início de uma comunicação;
- Realizar troca de informações necessárias para início de sessão;
- Permite modificar os parâmetros de uma sessão que já esteja em andamento;
- Possibilita ainda prosseguir com o encerramento de sessões que estejam em curso.

Os principais protocolos de sinalização utilizados em VoIP são SIP, H323, IAX, Skinny/SCCP e o UNISTIM, sendo o protocolo SIP mais utilizado atualmente.

O SIP (Session Initiation Protocol ou Protocolo de Iniciação de Sessão), assim como diz seu nome, é um protocolo que permite que dois participantes iniciem, modifiquem e encerrem sessões de mídia entre si.

2.3 Protocolo RTP

Com a popularização de diversos recursos multimídia disponíveis na Internet, surgiu a necessidade de criação de um protocolo de transporte projetado especificamente para tratar da característica de tempo real de algumas destas aplicações. Para isto foi desenvolvido o RTP (Real-time Transport Protocol). Conforme TANENBAUM (2003), este protocolo foi descrito inicialmente na RFC 1889 e pode ser utilizado no transporte de dados de som ou vídeo, sempre que a aplicação for sensível à perda ou atraso. O protocolo RTP é utilizado nos sistemas VoIP para o transporte dos pacotes de voz.

O RTP foi desenvolvido para permitir que os receptores possam suportar perda na ordem de sequência de pacotes e jitter, indesejavelmente inseridos com frequência em comunicações através de redes IP. O protocolo pode ser aplicado a qualquer tipo de fluxo de dados em tempo real, como vídeo e voz. O RTP provém mecanismos de controle sobre o tipo do dado transportado, timestamps e número sequencial do pacote de dado.

2.4 Qualidade de Serviço (QoS) em VoIP

As redes IP foram desenvolvidas para aplicações que não são sensíveis a tempo, como troca de e-mails e navegação em páginas web. A integração de novos recursos sensíveis a tempo, como é o VoIP, gera um grande problema e abre um amplo campo de estudo.

Aplicações não sensíveis ao tempo são aplicações cuja ordem de chegada dos pacotes e atrasos de transmissão dos dados em nada influencia o resultado final. Estas aplicações podem reordenar os pacotes na chegada e solicitar retransmissão dos dados extraviados.

As aplicações sensíveis ao tempo são aquelas que o atraso da chegada dos dados inviabiliza completamente a sua utilização. Assim, caso a informação não chegue dentro dos limites de tempo pré-estabelecidos, a mesma pode ser descartada. No caso do VoIP, quando um pacote de voz chega depois do momento que este deveria ser reproduzido ele é descartado, pois a aplicação não irá mais utilizar o som, pois ficaria fora de contexto.

Os sistemas de dados representam parte vital para o funcionamento de quaisquer empresas e instituições. Para permitir a convergência de recursos e ainda assim colher um bom desempenho das estruturas, é necessário que estes estejam em sintonia no que

diz respeito ao máximo aproveitamento dos recursos disponíveis e devido tratamento de cada tipo de dado. Isto é possível através da priorização de encaminhamento de pacotes oriundos de aplicações sensíveis ao tempo. Para isto foram desenvolvidos mecanismos de marcação de pacotes, possibilitando que os roteadores rapidamente leiam o campo indicativo de tipo de dado e assim os distribuam em filas com tratamentos diferenciados, tal técnica de otimização de transmissão é chamada de QoS (Quality of Service).

2.5 Qualidade de Serviço (QoS) em VoIP

Garantir qualidade de chamadas telefônicas em sistemas de comutação de pacotes é um desafio inerente à própria aplicação, pois ao contrário do que encontramos no sistema telefônico, que é baseado em comutação de circuitos, não há qualquer garantia de que os dados transmitidos serão entregues ao destino dentro de um determinado padrão de qualidade.

No sistema telefônico convencional é estabelecido um circuito dedicado fim-a-fim durante toda a duração da comunicação, simplificando e permitindo a criação de controle dos parâmetros que afetam a qualidade da ligação. Na comutação de circuitos, o tempo que a informação leva para ser transmitida da origem e recebida no destino é constante, não havendo inversão na ordem dos dados, nem variação de tempo de chegada e com pouca ou nenhuma perda de dados.

Já no modelo de comutação baseado em pacotes, cada datagrama segue seu caminho independentemente dos demais, estando sujeitos às variações e indisponibilidades que possam surgir à frente de cada pacote.

2.5.1 Atraso

Atraso é o tempo que o dado, ou mensagem, leva para chegar da origem até ao seu destino. Frequentemente os equipamentos de rede que fazem roteamento de pacotes são as maiores fontes de atraso. Deve-se considerar também, apesar de pequeno, o atraso inserido pela propagação dos sinais através dos meios de transmissão.

Em redes LAN o atraso geralmente é desprezível, sendo mais perceptível quando existe passagem pela Internet, havendo relação evidente com o maior número de equipamentos por onde a informação deverá trafegar, e assim, maior atraso irá sofrer.

Segundo SINNREICH e JOHNSTON (2006), a recomendação G.114 do ITU é amplamente aceita na indústria das telecomunicações, onde temos que:

- Atrasos inferiores a 150ms permitem conversação com qualidade aceitável;
- Atrasos não maiores que 400ms oferecem comunicação com qualidade tolerável;
- Atrasos superiores a 400ms impedem a boa comunicação entre os envolvidos.

2.5.2 Jitter

A variação do atraso, também conhecida como jitter, é um dos aspectos relacionados ao VoIP que mais afeta seu desempenho.

No sistema telefônico convencional, os dados chegam ao seu destino na mesma sequência em que foram produzidos na origem. Um pacote precisa da mesma quantidade de tempo que o anterior e que o seguinte utilizou para chegar ao seu destino,

ou seja, não há variação no atraso de chegada dos dados, ainda em outras palavras, não existe jitter.

Já em sistemas baseados em comutação de pacotes, cada unidade de dado segue seu próprio caminho por toda a rede de computadores à frente, encontrando equipamentos com capacidades distintas, enlaces de dados com tecnologias diferentes, caminhos com indisponibilidades causando perdas de pacotes, etc. Conforme KUROSE e ROSS (2010), todas estas variáveis fazem com que os dados levem tempos distintos para cumprir seu trajeto da origem ao destino, chegando ao ponto de pacotes chegarem fora da sequência original ou apenas tarde demais para serem utilizados aonde seriam.

Em VoIP a solução para reduzir os impactos do jitter é o uso de um buffer de apresentação (ou também chamado de buffer de eliminação de jitter). Este buffer implementa uma fila de pacotes de voz a serem consumidos, disponibilizando assim um período de tempo para que dados fora de ordem sejam reorganizados temporalmente. Para VoIP, geralmente os buffers estocam algumas centenas de milissegundos de informação, permitindo apenas alguma recuperação de dados em casos de falhas.

2.5.3 Perda de Pacotes

Em VoIP, um pacote perdido representa a ausência de uma porção de milissegundos de áudio. Isto se deve ao fato de que em VoIP os pacotes de voz são transportados utilizando o protocolo UDP, que não oferece serviços de retransmissão.

Apesar de a aplicação apresentar sensibilidade ao tempo, o ouvido humano não demonstra a mesma sensibilidade ao enfrentar perdas de áudio na escala de milissegundos, desta forma, a perda de alguns pacotes de dados não afeta a inteligibilidade de uma chamada telefônica. Contudo, de acordo com KUMAR, KORPI e SENGODAN (2006), perdas de pacotes em sequência podem prejudicar a comunicação, uma vez que a ausência de sílabas ou palavras inteiras podem ser comprometer a compreensão das frases.

A voz humana codificada produz dados que apresentam algo grau de previsibilidade, uma vez que cada amostra de áudio apresenta pouca variação em relação à anterior. Desta forma, na ausência aleatória de alguns pacotes de dados ou extrapolando o atraso limite estabelecido, o sistema reconstrói os dados do pacote faltante através de técnicas de previsão de dados, quase sempre tornando a falha totalmente transparente para o usuário humano.

2.6 CODECS

Nas redes de dados podemos transportar somente sinais digitais em forma de pacotes. Para transformar a voz humana, que conforme explicado é originalmente analógica, através de redes digitais, precisamos convertê-la de analógica para digital. Neste processo que são empregados os codecs, sendo responsáveis pela transformação do sinal analógico em sinal digital. Os codecs também são responsáveis pelo processo inverso, convertendo sinais digitais novamente em analógicos para que possam ser interpretados por nossos ouvidos.

Os codecs ainda desempenham o papel de otimizar o volume de bits gerado ao digitar um determinado som, buscando sempre produzir o menor fluxo de bits por segundo possível, resultando em transmissão mais eficiente.

Lista dos CODECS mais utilizados e suas principais características são resumidas na tabela 1:

Recomendação ITU-T	Algoritmo	Bit rate (kbit/s)	Atraso típico fim-a-fim (ms)	Qualidade de Voz
G.711	PCM	48; 56; 64	<<1	Excelente
G.722	Sub-banda ADPCM	48; 56; 64	<<2	Boa
G.723.1	ACELPMP-MLQ	5,36,3	67-97	Razoável Boa
G.726	ADPCM	16; 24; 32; 40	60	Boa (40) Razoável (24)
G.727	AEDPCM	16; 24; 32; 40	60	Boa (40) Razoável (24)
G.728	LD-CELP	16	<<2	Boa
G.729	CS-ACELP	8	25-35	Boa
G.729 Anexo A	CS-ACELP	8	25-35	Boa

Tabela 1 - Lista de CODECs mais utilizados (TELECO 2012)

2.7 Técnicas de Avaliação de Qualidade em VoIP

Na metodologia proposta, para atestar a qualidade de serviço, serão utilizadas as recomendações publicadas por ETSI (1998). Os parâmetros e valores da tabela 2 serão considerados e as medições deverão se manter dentro do contexto abaixo, de acordo com o nível de satisfação que se pretende homologar:

Categorias de Qualidade	Atraso fim-a-fim	Média das perdas de pacotes	Variação do atraso	Satisfação do Usuário
Melhor	< 150 ms	0,5%	< 50 ms	Muito Satisfeito
Alto	< 250 ms	3%	< 75 ms	Satisfeito
Médio	< 350 ms	15%	< 125 ms	Alguns Usuários Insatisfeitos
Baixo	<450 ms	25%	<225 ms	Muitos Usuários Insatisfeitos

Tabela 2 – Parâmetros de referência de satisfação (ETSI, 1998)

Além do estudo apresentado, foram desenvolvidos modelos de avaliação da qualidade do áudio transmitido e recebido em redes de comunicação de voz. Estes modelos visam disponibilizar métricas para comparação da qualidade obtida em redes e sistemas diferentes, utilizando codecs e tecnologias distintas, desta forma possibilitando mensurar a satisfação dos usuários e assim indicar quais técnicas são mais adequadas a determinados cenários.

2.7.1 MOS

De acordo com HERSENT, GUIDE e PETIT (2002), este modelo de avaliação é frequentemente chamado de teste subjetivo de classificação de categoria absoluta. A avaliação do áudio utilizando este modelo consiste na exposição de trechos de áudio a

grupos de voluntários. Estes grupos devem representar uma amostra real de uma população alvo que se deseja submeter à análise.

O estudo é feito de modo que cada participante registre sua nota atribuída à inteligibilidade do áudio recebido, sem que sejam realizadas comparações entre amostras de áudio ou que existam outras referências. Os participantes do estudo expõem sua opinião quanto à qualidade do áudio, seguindo a tabela 3:

Excelente	5
Boa	4
Regular	3
Insatisfatória	2
Ruim	1

Tabela 3 - Pontuação MOS (PETIT 2002)

O resultado final do experimento é obtido através do cálculo da média aritmética dos valores atribuídos por cada participante, produzindo assim a nota final na escala MOS.

É possível afirmar que a pontuação MOS cresce conforme aumenta a taxa de transmissão de bits por segundo da técnica de codificação utilizada. Esta relação tem a ver com a maior fidelidade de som obtido ao codificar e recuperar sons que foram processados por codecs que não fazem compressão de dados para reduzir o tráfego de bits., isto porque a maior parte das técnicas de compressão insere distorção no áudio final, afetando a qualidade observada pelo usuário do sistema.

2.7.2 E-Model

De acordo com a própria publicação da recomendação ITU-T G.107 (2005), o e-model é um modelo computacional que calcula o nível de satisfação dos usuários de um sistema de comunicação de voz, através do levantamento dos valores das variáveis que afetam a qualidade da comunicação, relacionando os dados obtidos numa equação proposta pelo modelo e assim produzindo uma nota de 0 a 100, chamada de fator R, que deve refletir a qualidade observada pelos usuários do sistema.

O fator R pode ser obtido através do cálculo:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$$

Onde temos que:

R₀: representa a relação sinal-ruído base, incluindo fontes de ruído como ruído de circuito e ruído ambiente;

I_s: relaciona a combinação de todas as interferências que atingem simultaneamente o sinal de voz;

I_d: refere-se aos atrasos ocorridos na transmissão de uma ponta até outra;

I_e: diz respeito às distorções causadas por codecs que produzem baixas taxas de bits;

A: esta variável permite aperfeiçoar a nota final quando algum mecanismo de compensação é utilizado.

A figura 1 apresenta uma relação aproximada entre as pontuações utilizadas no MOS e no E-model:

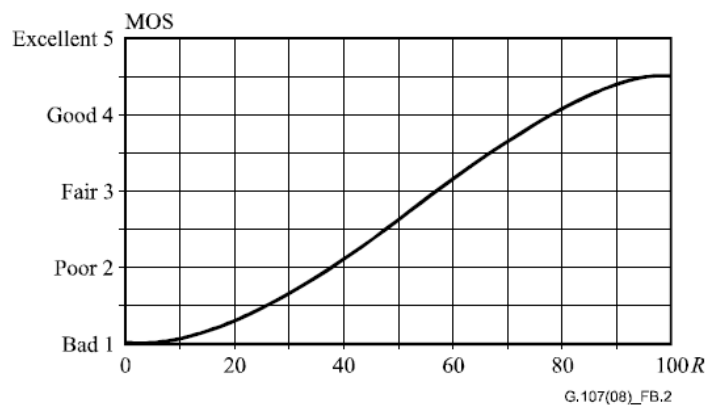


Figura 1 - Relação entre MOS e E-model (ITU-T G.107, 2005)

O e-model dispensa a participação de um número relativamente alto de participantes para produção do estudo, sendo necessários apenas os especialistas na técnica para desenvolvimento dos resultados. Em contraponto, as variáveis necessárias não podem ser obtidas de forma trivial, demandando mão de obra especializada para tal.

3. Redes Sem fio

Geralmente são extensões de redes LAN convencionais cabeadas, onde são instalados os dispositivos necessários para transformar em ondas de rádio os sinais elétricos dos cabos. Para usufruir desta tecnologia os computadores devem estar equipados com uma interface de rede composta por um modem de rádio e uma antena, através dos quais se utilizará para comunicar-se com outros dispositivos. Geralmente os computadores se comunicam com um dispositivo central chamado de Access Point, que faz intermédio da comunicação durante todo o tempo entre os clientes conectados.

3.1 IEEE 802.11

O IEEE 802.11 é um padrão que define redes WLAN (*Wireless Local Area Network*) e sua primeira versão foi lançada em 1997 pela entidade IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*). Existem diversas variações deste padrão, onde os mais conhecidos que temos são o IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g e 802.11n. Tanto o padrão IEEE 802.11 bem como suas variações são conhecidos como *Wi-Fi*, porém oficialmente esta é uma marca registrada da *Wi-Fi Alliance*, que é um conjunto de fabricantes autorizados a certificar equipamentos que desejam receber o selo de *Wi-Fi*. Este selo foi desenvolvido para garantir que todos os equipamentos que o possuem são plenamente compatíveis entre si e somente é emitido após criteriosos testes realizados por uma das entidades certificadoras, por este motivo nem todos os equipamentos que afirmam contar com a tecnologia IEEE 802.11 recebem oficialmente o selo de *Wi-Fi*.

A tabela 4 apresenta as principais diferenças entre cada variação do padrão IEEE 802.11:

Padrão	Faixa de Frequência	Taxa de transferência
802.11b	2,4 – 2,485 GHz	Até 11 Mbps
802.11g	5,1 – 5,8 GHz	Até 54 Mbps

802.11g	2,4 – 2,485 GHz	Até 54 Mbps
802.11n	2,4 – 5 GHz	Até 300 Mbps

Tabela 4 - Diferenças entre padrões IEEE 802.11

3.2 Segurança em Redes 802.11

São necessárias técnicas de proteção das transmissões para evitar que dispositivos não autorizados realizem interceptações. A seguir seguem as técnicas mais utilizadas atualmente.

3.3 WEP (Wired Equivalent Privacy)

Esta técnica foi desenvolvida com o objetivo de oferecer às redes sem fio o mesmo tipo de segurança que está disponível nas redes com fio. A WEP fornece serviço de criptografia de dados e autenticação entre dispositivos clientes e um ponto de acesso sem fio, para isto é empregado um esquema de chave simétrica que é compartilhada entre o ponto de acesso e cada um de seus clientes.

3.4 WPA (Wi-Fi Protected Access)

Buscando aprimorar a segurança oferecida pela técnica WEP, a Wi-Fi Alliance desenvolveu o protocolo WPA, sendo este publicado em 2003. A técnica também é conhecida como WEP2 ou TKIP (Temporal Key Integrity Protocol).

O WPA conta com um vetor de inicialização de 48 bits, contra 24 bits do WEP. Isto por si só já aumenta o nível de segurança, porém ainda existem outras melhorias no algoritmo que produz a chave criptográfica.

3.5 WPA2 (Wi-Fi Protected Access II)

Apesar de todo o investimento realizado no desenvolvimento do WPA, este protocolo ainda apresenta vulnerabilidades e foi mostrado que pode ser quebrado. Já em 2004 foi lançado o padrão IEEE 802.11i como o protocolo de segurança que até então cobre todas as falhas conhecidas das técnicas até então utilizadas.

O WPA2 emprega o uso do TKIP em conjunto com AES (Advanced Encryption Standard), produzindo chaves compartilhadas de 256 bits que são conhecidas pelo cliente e ponto de acesso.

4. VoIP em WLAN

Apesar de todos os avanços e vantagens oferecidas pelas redes sem fio, não podemos ignorar os problemas inerentes a esta tecnologia, como interferências produzidas por outros equipamentos e a existência de obstáculos físicos que prejudicam a propagação das ondas de rádio.

4.1 QoS em Wi-Fi (IEEE 802.11e)

Conforme ARUBA NETWORKS (2011), durante a maior parte do tempo, as redes de dados são subutilizadas, sobrando grande poder computacional para processamento e

transferência de pacotes de dados. Porém é comum a existência de momentos com picos de utilização, podendo ocorrer nestas situações gargalos e congestionamentos, prejudicando a qualidade dos serviços que rodam sobre a rede.

O meio de transmissão das redes Wi-Fi é um canal com 20 ou 40MHz de largura de espectro de frequência, sendo esta faixa compartilhada por todos aqueles conectados à rede sem fio e também por outros pontos de acesso que estejam operando no mesmo canal de frequência.

A criação de políticas de QoS é uma alternativa altamente recomendável para evitar problemas, ou pelo menos reduzir os impactos aos usuários da rede. As políticas de QoS devem prever marcação dos pacotes de voz nas estações onde são produzidos e priorização de roteamento destes pacotes de voz em todos os roteadores integrantes da rede, permitindo o tráfego destes mesmo quando a rede está sobrecarregada.

De acordo com BEURAN (2006), com o intuito de melhorar a qualidade de serviço em redes sem fio, foi publicado em 2005, o padrão IEEE 802.11e, também conhecido como Wi-Fi Multimedia ou WMM, que trata especificamente de formas para garantir qualidade de serviço neste tipo de rede. O padrão funciona agregando à camada MAC já existente no IEEE 802.11 funções para gerenciar QoS, adicionando suporte à aplicações com requisitos de QoS e provendo classes de serviços. Adicionalmente, o padrão fornece melhorias de eficiência ao protocolo, que em conjunto dos aperfeiçoamentos na camada física dos padrões IEEE 802.11a e IEEE 802.11b, tendem a melhorar o desempenho geral do sistema, aumentando sua aplicabilidade para aplicações sensíveis a atraso, perda e jitter.

4.2 Aspectos do Wi-Fi que afetam VoIP

De acordo com CONCEICAO (2006), além dos aspectos genéricos já apresentados e analisados, existem outros que podem ocorrer com maior frequência especialmente em redes Wi-Fi, sendo os dois principais: handoff e tráfego em rajadas.

4.2.1 Handoff

Além de seus usuários não necessitarem de cabos, outra grande vantagem das redes sem fio é a mobilidade conferida aos clientes da rede, que podem se mover dentro da região coberta pelo Wi-Fi, inclusive migrando da área de cobertura de um ponto de acesso para a área de cobertura de outros pontos de acesso da mesma rede. Porém é no momento que o usuário está em movimento e faz a migração entre pontos de acesso, também chamado de handoff, que durante uma chamada VoIP foi identificada ocorrência de uma das situações que mais afetam negativamente o desempenho do serviço.

4.2.2 Tráfego em rajadas

Segundo TELCHEMY (2005), tráfego em rajadas é denominado quando pacotes que foram produzidos sequencialmente em tempos distintos chegam ao destino simultaneamente ou quase. Ocorre quando, por algum motivo, os pacotes ficam retidos em algum ponto da rede, de modo que ocorre um atraso generalizado na entrega dos pacotes e subitamente a entrega dos dados é restabelecida, assim todos os pacotes atrasados são entregues imediatamente ao destino sem perdas adicionais.

5. Proposta de Metodologia de Implantação de Redes Sem Fio Homologadas para VoIP e Estudo de Caso

É proposta a seguir uma metodologia de implantação de redes sem fio considerando requisitos de tráfego de sistemas VoIP. Este trabalho contempla desde a pesquisa para definição das características desejadas para a rede sem fio até a avaliação do ambiente em questão e posicionamento físico dos equipamentos.

Para definição desta metodologia, inicialmente foi realizado um estudo de outras metodologias de implantação de redes sem fio já existentes, compilando o que existe de melhor em cada uma, reaproveitando as técnicas que foram consideradas as melhores dentro de cada etapa envolvida no processo de implantação de redes sem fio. Quando observados aspectos limitados, foram colocadas melhorias nas técnicas escolhidas na criação da nova metodologia.

5.1 Visão Geral da Metodologia Proposta

A proposta é composta por duas fases, conforme apresentado na figura 2:

- **Projeto da Rede Wi-Fi:** Esta fase envolve as etapas de análise de requisitos, estimativa de tráfego e de usuários, estudo do ambiente, de cobertura desejada, de infraestrutura de rede e de elétrica, definição das características dos equipamentos;
- **Implantação da Rede Wi-Fi:** Esta fase envolve as etapas de posicionamento dos equipamentos, estudo de cobertura de sinal, simulação de tráfego de dados e de tráfego VoIP, avaliação de desempenho e possíveis ajustes.

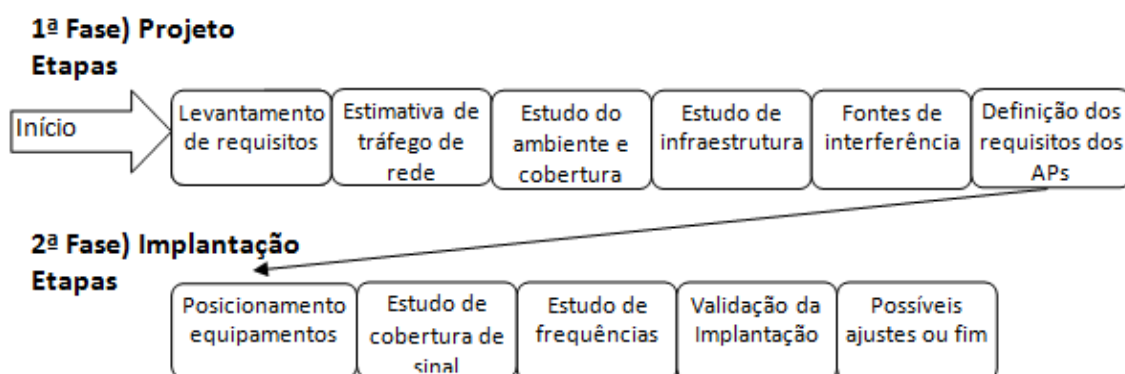


Figura 2 – Fases e etapas da metodologia

5.2 Metodologia Proposta e Estudo de Caso

1ª Fase) Projeto

Etapa: Levantamento de requisitos

Objetivo: Delimitar o que será e o que não será abordado, definir escopo.

Estudo de caso:

- Local alvo do projeto: estabelecimento comercial “Quadra Bate-Bola”;
- Toda área aberta ao público deve oferecer rede Wi-Fi;
- Equipamentos necessários devem ser especificados no projeto;
- No local existe presença de rede de dados cabeada com acesso à Internet. Existe ainda rede elétrica que poderia ser utilizada;

-Projeto limita-se à validação de serviço VoIP somente dentro do âmbito da rede wireless.

Etapa: Estimativa de tráfego de rede

Objetivo: Definir requisitos em termos de tráfego a ser suportado

Estudo de caso:

- Uso simultâneo por até 10 usuários;
- Estimativa de uso de aplicações: acesso web 40% dos usuários, chamadas VoIP 20% dos clientes e visualização de streams de vídeos outros 20% ;
- Tráfego da rede = $(4 * \text{acesso web}) + (2 * \text{chamadas VoIP}) + (2 * \text{vídeo 720p})$
Tráfego da rede = 6301,6Kbps;
- Aplicado 15% de taxa de segurança sobre o valor estimado:
Tráfego total da rede: 7246,84Kbps;
- Taxa máxima por usuário = 2875Kbps (1 vídeo 720p+15%).

Etapa: Estudo de ambiente e de cobertura

Objetivo: Conhecer o local e definir abrangência

Estudo de caso:

- Planta baixa do ambiente;
- Esboço dos limites geográficos que a rede deve atender;
- Anotados os materiais das paredes e de outras possíveis barreiras para propagação do sinal;
- Figura 3 apresenta o resultado desta etapa.

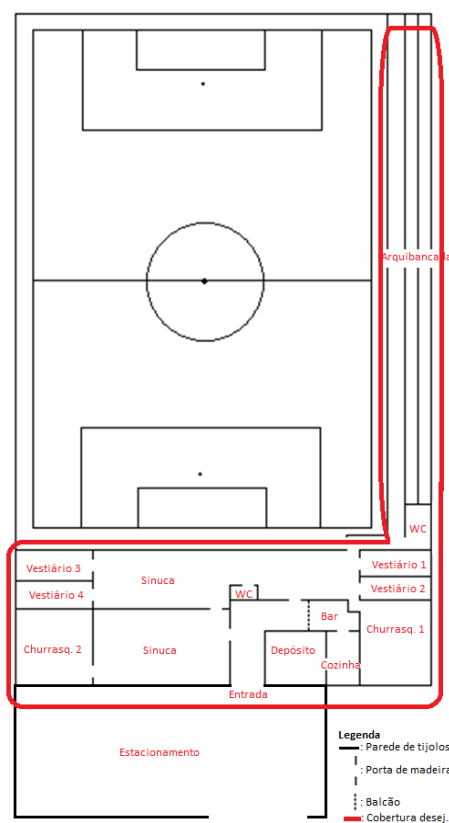


Figura 3 – Estudo de ambiente e de cobertura

Etapa: Estudo de Infraestrutura

Objetivo: Reaproveitar infraestrutura do local

Estudo de caso:

- Na planta baixa foram anotados os pontos de presença de rede elétrica e de rede de dados cabeada;
- O resultado desta etapa é apresentado na figura 4.

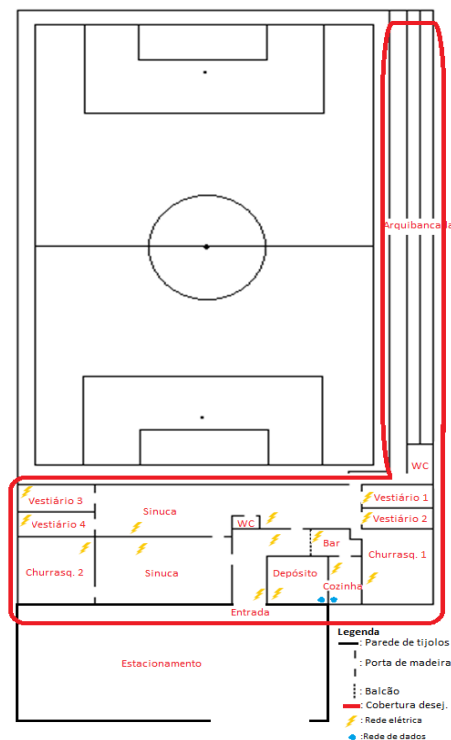


Figura 4 – Estudo de infraestrutura

Etapa: Identificação de fontes de interferência

Objetivo: Encontrar e evitar fontes de interferência

Estudo de caso:

- Não foi observada presença de fontes de interferência como fornos de micro-ondas, telefones sem fio, motores ou outros Access Points.

Etapa: Definição dos Requisitos dos APs

Objetivo: Definir características técnicas necessárias

Estudo de caso:

- Segurança através de WPA2;
- Limitar o uso a 10 usuários;
- Permitir limitar a 2875Kbps de taxa de download por usuário;
- Para atingir 2875Kbps, o nível mínimo de sinal em qualquer ponto da rede deve ser -86dBm. Calculado que potência mínima de transmissão deve ser de 16dBm com antena de 5dBi;
- Compatibilidade com padrão 802.11n;
- Oferecer QoS;
- Escolhido “Intelbras WIN 240 Roteador Wireless N 500 mW”, pois atende a todos requisitos e apresenta bom custo/benefício.

2ª Fase) Implantação

- Etapa: Posicionamento dos Equipamentos

Objetivo: Iniciar implantação

Estudo de caso:

- AP instalado dentro do “Depósito”;
- Estimativa teórica aponta nível de sinal dentro do planejado.

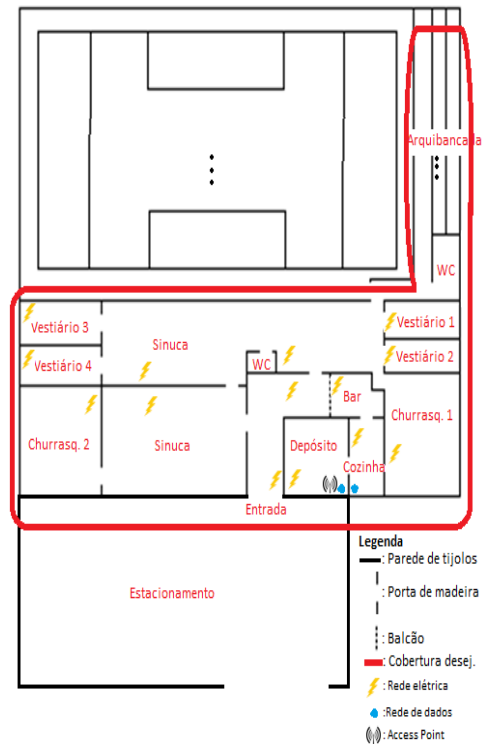


Figura 5 – Posicionamento dos equipamentos

Etapa: Estudo de cobertura de sinal

Objetivo: Aferir nível de sinal na área

Estudo de caso:

- Utilizada ferramenta de Site Survey: TamoGraph;
- Área de cobertura foi percorrida realizando medições de nível de sinal em diversos pontos;
- Nenhum ponto ficou com sinal abaixo de -86dBm.
- Figura 6 apresenta resultado desta etapa.

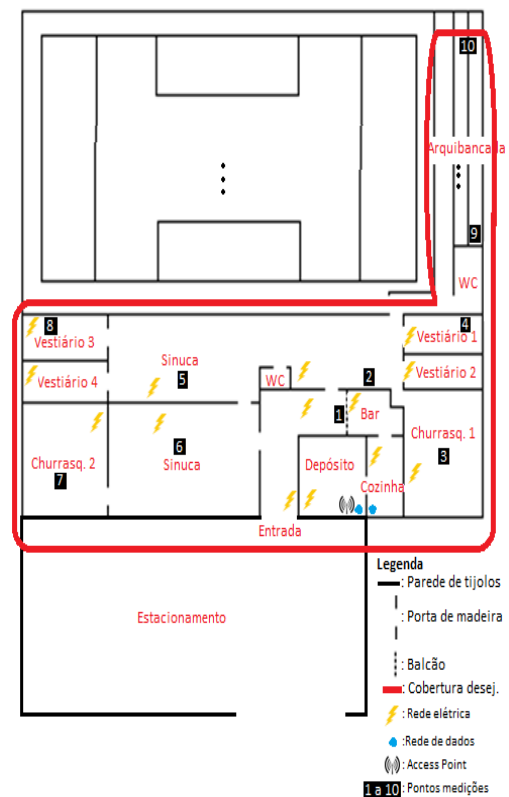


Figura 6 – Estudo de cobertura de sinal

Implantação - Etapa: Estudo de frequências

Objetivo: Escolher canal a ser utilizado

Estudo de caso:

- O TamoGraph é capaz de mostrar o canal utilizado por cada rede;
- Deve-se manter 5 canais de distância dos canais mais poluídos;
- Escolhido o canal 6.

Canal 1: 9 redes	Canal 7: 1 rede
Canal 2: 1 rede	Canal 8: 0 rede
Canal 3: 1 rede	Canal 9: 0 rede
Canal 4: 0 rede	Canal 10: 0 rede
Canal 5: 1 rede	Canal 11: 10 redes
Canal 6: 6 redes	

Tabela 14 – Contagem de redes existentes

Etapa: Validação da implantação

Objetivo: Simular tráfegos e avaliar resultados

Estudo de caso:

- Entre os dois locais com pior nível de sinal foi produzido tráfego de duas chamadas VoIP;
- Mantido ping do ponto 8 para o 4 durante o teste;
- Entre dois locais com boa qualidade de sinal foi produzido o tráfego de fundo estimado de 7062,84Kbps;
- Utilizado o software Jperf para realizar as simulações;
- Duração do teste de 3 minutos;
- Resultados: Jitter 6,248 ms, perda de pacotes 1,87% e atraso 28 ms;
- Conforme tabela 12 "Parâmetros de referência de satisfação", os resultados obtidos se enquadram na categoria "Alto" e a rede está validada.

Implantação - Etapa: Possíveis Ajustes

Objetivo: Realização de ajustes caso rede não validada na etapa anterior

Estudo de caso:

- A rede projetada neste trabalho não necessitou de ajustes para se enquadrar na categoria "Alto" de satisfação dos usuários.

5 Conclusões, Limitações e Trabalhos Futuros

O presente estudo incentivou a realização de um amplo levantamento bibliográfico sobre o tema, possibilitando o entendimento das diversas variáveis que afetam a qualidade do tráfego de voz em redes sem fio, permitindo a definição de uma metodologia especialmente desenhada para tal aplicação, listando os passos envolvidos na implantação de redes sem fio, formas de validar o funcionamento satisfatório e prevendo possíveis ajustes para alcançar o nível almejado de qualidade.

Foi realizado um estudo de caso onde a metodologia definida foi utilizada no projeto de uma rede sem fio, percorrendo todos os passos previstos desde o projeto até a implantação da rede, culminando nas simulações de tráfego, coletas de dados e por último na avaliação das métricas de resultado.

Adicionalmente ao estudo de caso foi realizado um estudo comparativo de desempenho de tráfego de fluxos de dados com e sem a utilização de QoS, onde

podemos observar um significativo aumento de desempenho nos fluxos de dados que contavam com marcação QoS quando priorização de encaminhamento estava devidamente habilitada no AP.

O trabalho possui limitações, como por exemplo, na seção “5.2.6.3 Potência de sinal” é apresentada uma tabela que relaciona nível de sinal x taxa de transferência. Esta tabela é diretamente utilizada na metodologia proposta. Durante a realização do próprio estudo de caso foi observado que dispositivos diversos apresentam desempenhos bastantes distintos mesmo que em cenários semelhantes. Para resolver tal limitação, seria possível criar uma etapa de calibração dos equipamentos envolvidos, medindo o real desempenho de cada dispositivo para que as estimativas e cálculos sejam mais os precisos possíveis.

Como trabalho futuro é possível apontar a necessidade de desenvolvimento de uma ferramenta unificada que conte com todos os recursos que tivemos que buscar em 4 softwares distintos, facilitando e agilizando as etapas onde é necessário o uso destes softwares. Esta nova ferramenta poderia unir a possibilidade de definir detalhadamente os parâmetros dos fluxos de dados, assim como existe no Jperf, porém com a opção de realizar marcação de pacotes, conforme o TamoSoft Throughput Test. Ao final de cada teste, esta ferramenta poderia apresentar o valor do atraso, jitter e perda de pacotes, dispensando a utilização do ping. E para eliminar a necessidade do TamoSoft Site Survey, a nova ferramenta deveria mostrar o canal de comunicação utilizado por cada rede presente no ambiente, bem como a potência de sinal disponível de cada rede em determinados pontos geográficos percorridos por um computador móvel executando o software. Esta nova ferramenta também poderia simular cenários de operação em termos de tráfego de rede, ajudando na validação da rede de acordo com o cenário escolhido pelo usuário.

6 Referências

TANENBAUM, A. S. *Redes de Computadores*. 4. ed. Rio de Janeiro: Campos, 2003.

HERSENT, O., GUIDE, D., PETIT, J., *Telefonia IP – Comunicação Multimídia Baseada em Pacotes*. Addison Wesley. São Paulo 2002.

KUROSE, James F., ROSS, Keith, W., *Redes de Computadores e a Internet*. 5a ed. Pearson. São Paulo 2010.

BORGES, R. S., *Validação de redes de dados para serviços VoIP – Trabalho de conclusão de Curso Universidade Federal de Santa Catarina*. Florianópolis 2012.

ANDRADE, R. M., *Sistemas VoIP em redes sem fio IEEE 802.11 - Trabalho de conclusão de Curso Universidade Federal de Santa Catarina*. Florianópolis 2011.

SINNREICH, H., JOHNSTON, A. B., *Internet Communications Using SIP: Delivering VoIP and Multimedia Services with Session Initiation Protocol*. 2 ed. Wiley Publishing, Inc. Indianapolis. 2006.

TELECO. VoIP / Telefonia IP – Tecnologias. Acessado em 16/10/12, site <http://www.teleco.com.br/tecvoip.asp>

ITU-T G.107. The E-model: a computational model for use in transmission planning. Acessado em 28/11/12, site <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107-201112-I/en>

IEEE 802.11. IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks. Acessado em 15/01/13, site <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>

TORRES, Gabriel. Redes de Computadores. Axcel Books. Rio de Janeiro, 2001.

TORRES, Gabriel. Redes de computadores. Rio de Janeiro: Novaterra, 2009.

ARUBA NETWORKS. Bringing QoS Over Wireless LAN Into Focus. Aruba Networks Inc. California, 2011.

freeRADIUS. FreeRADIUS is the most widely deployed RADIUS server in the world. Acessado em 08/05/08, site <http://freeradius.org>

MATTOS, Guilherme. Redes de Acesso em Banda Larga utilizando Sistemas VSAT e Wi-Fi. PUC Rio de Janeiro, 2006.

BEURAN, R. VoIP over Wireless LAN Survey. Japan Advanced Institute of Science and Technology, 2006.

MARX, A., T. Do Projeto à Implantação de Redes Sem Fio: Um Estudo de Caso. Universidade do Oeste de Santa Catarina, Campus de São Miguel do Oeste, 2008.

NETSTUMBLER. Wireless Network Tool. Acessado em 08/05/08, site www.stumbler.net

CONCEICAO, A., F., LI, J., FLORENCIO, D., A. Transmissão de voz sobre redes IEEE 802.11: um levantamento dos principais problemas e restrições. Instituto de Matemática e Estatística - Universidade de São Paulo, Communication and Collaboration Systems Microsoft Research, 2006.

TELCHEMY. Managing Wireless LANs & Wi-Fi Services - VoIP Performance Management. Suwanee, 2005.

SHIN, S., SCHULZRINNE, H. Towards the Quality of Service for VoIP traffic in IEEE 802.11 Wireless Networks. Department of Computer Science Columbia University, 2008.

SUPPORT GOOGLE. Configurações, taxas de bits e resoluções do codificador ao vivo. Acessando em 05/05/2013 às 21:08h, site <http://support.google.com/youtube/bin/answer.py?hl=pt-BR&answer=2853702>

NAJNUDEL, Marcelo. Estudo de Propagação em Ambientes Fechados Para o Planejamento de WLANs. PUC Rio de Janeiro, 2004.

COOVACHILLI. CoovaChilli open-source software access controller, based on the popular ChilliSpot project, and is actively maintained by an original ChilliSpot contributor. Acessado em 08/05/08, site <http://coova.org/CoovaChilli>.

MORIMOTO, C. E., Redes wireless: Calculando a potência de transmissão e de recepção. Acessado em 12/05/2013, site <http://www.hardware.com.br/tutoriais/calculando-potencia-wireless/>

ETSI. Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS). França, 1998.

TAMOGRAPH. TamoGraph Site Survey Help Documentation Version 3.1. Acessado em 19/05/2013, site www.tamos.com

RFC 3393. IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics. Acessado em 06/06/13, site <http://www.ietf.org/rfc/rfc3393.txt>

JPERF. Graphical frontend for IPERF written in Java. Acessado em 11/06/13, site <https://code.google.com/p/xjperf/downloads/detail?name=jperf-2.0.2.zip&can=2&q=>

TAMOSOFT THROUGHPUT TEST. TamoSoft® Throughput Test. Acessado em 11/06/13, site <http://www.tamos.com/products/throughput-test/>