

Fernanda Peters

*Implementação e validação de uma camada de
áudio para ferramentas colaborativas com baixa
latência*

Florianópolis
Novembro 2010

Fernanda Peters

Implementação e validação de uma camada de áudio para ferramentas colaborativas com baixa latência

Monografia submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Ciências da Computação.

Orientador: Prof. Dr. rer.nat. Aldo von Wangenheim

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Informática e Estatística

Florianópolis
Novembro 2010

Monografia de graduação sob o título "Implementação e validação de uma camada de áudio para ferramentas colaborativas com baixa latência", defendida por Fernanda Peters e aprovada em 17 de novembro de 2010, em Florianópolis, Santa Catarina, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. rer.nat. Aldo von Wangenheim
Universidade Federal de Santa Catarina
Orientador

M. Sc. Tiago de Holanda Cunha Nobrega
Universidade Federal de Santa Catarina
Co-orientador

Prof. Dr. Mario Antonio Ribeiro Dantas
Universidade Federal de Santa Catarina
Membro da Banca

Prof. Dr. Roberto Willrich
Universidade Federal de Santa Catarina
Membro da Banca

*Aos meus pais,
pelo apoio, compreensão e amor.*

Resumo

A telemedicina está emergindo à medida que as tecnologias de informação difundem-se. Seu crescimento torna cada vez mais evidentes os benefícios que seu uso pode trazer à população e aos especialistas. Entre eles estão a melhoria na assistência primária em saúde, o acesso local a especialistas e maior disponibilidade de recursos e informação médica em comunidades desprovidas de cuidados médicos.

O escopo deste trabalho encontra-se numa subárea conhecida como telediagnóstico, cujo objetivo principal é acelerar o processo de descoberta da patologia que acomete o paciente, afim de que seu tratamento possa ser efetuado antes que ocorra um agravamento do quadro.

A proposta apresentada é a melhoria numa tecnologia amplamente utilizada atualmente, o uso de voz sobre IP, num programa de telemedicina já em uso. Dessa forma, será garantida uma comunicação clara entre os especialistas, possibilitando que estes troquem ideias sobre o diagnóstico das imagens médicas que são vistas por eles.

Palavras Chaves: VoIP, RTP, Telemedicina, Telediagnóstico.

Abstract

Telemedicine is emerging as information technologies spread. It's growth makes the benefits it may bring to population and specialists move evident every day. Among them are improvements in primary health care, local access to specialists, greater availability of resources and medical information in communities unprovided of medical care.

The scope of this work is in a subarea known as telediagnosis, with the main goal is to quicken the discovery process of patient pathology, in order for the treatment to be made before the situation gets worse.

The present purpose is the improvement in a technology widely used today, using voice over IP, in a telemedicine program already in use. So, an efficient and clear communication between the specialists will be guaranteed, making possible for them to exchange ideas about diagnosis of medical images that they have seen.

Keywords: VoIP, RTP, Telemedicine, Telediagnosis.

Lista de Figuras

1	Sessão colaborativa utilizando o CMS.....	14
2	Anotações e comentários em tempo real no TeleConsult.....	25
3	Teleconferência usando OsiriX com iChat.....	28
4	Diagrama de estados para uma conexão direta no CycAppDCM.....	33
5	Arquitetura Internet TCP/IP.....	35
6	Formato do pacote RTP.....	37
7	Digitalização do sinal.....	39
8	Organização dos protocolos utilizados na comunicação por voz.....	43
9	Relação entre o tamanho do <i>jitter-buffer</i> , a latência e o <i>jitter</i> (LEGG, 2005).....	45
10	Representação da estrutura do teste de latência.....	47
11	Diferença entre a saída e a chegada do áudio no outro computador.....	49
12	Determinação dos efeitos da latência segundo o <i>E-model</i>	49
13	Gráfico representando a variação de latência em função do tempo (LAN).....	51
14	Gráfico representando a variação de latência em função do tempo (3G).....	52
15	Gráfico representando a variação de <i>jitter</i> em função do tempo.....	52
16	Comparação dos resultados obtidos no teste de qualidade do som.....	54

Lista de Tabelas

1	Comparação entre as principais bibliotecas que implementam o RTP.....	22
2	Estados durante o estabelecimento de uma conexão no CycAppDCM.....	31
3	Padrões ITU-T para voz.....	34
4	Resultados obtidos nos testes de latência.....	50

Lista de Siglas e Abreviaturas

ATM – Asynchronous Transfer Mode

CMS – Cyclops Medical Station

CycAppDCM – Cyclops Application Protocol

DICOM – Digital Imaging and Communications in Medicine

GPL - General Public License

IP – Internet Protocol

ISDN – Integrated Services Digital Network

ITU-T - International Telecommunications Union - Telecommunications

LGPL - Lesser General Public License

MP3 - MPEG 1 Layer-3

PACS - Picture Archiving and Communication System

PCM – Pulse-code Modulation

QoS – Quality of Service

RTP – Real Time Protocol

RTSP – Real Time Streaming Protocol

RTCP – Real Time Control Protocol

RTSP - Real-Time Streaming Protocol

SIP – Session Initiate Protocol

SLV – Sala de Laudos Virtual

TCP – Transmission Control Protocol

UDP – User Datagram Protocol

VoIP – Voice Over IP

Sumário

Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tabelas.....	vii
Lista de Siglas e Abreviaturas.....	viii
1 Introdução.....	12
1.1 Motivação.....	12
1.2 Justificativa.....	13
1.2.1 Cenário de Aplicação.....	13
1.3 Objetivo.....	14
1.3.1 Objetivos Específicos.....	15
1.4 Análise de Requisitos.....	15
1.4.1 Requisitos Funcionais.....	15
1.4.2 Requisitos Não-Funcionais.....	15
1.5 Metodologia.....	16
1.5.1 Classificação da Pesquisa.....	16
1.5.2 Etapas da Pesquisa.....	16
1.6 Plano de Trabalho.....	17
1.6.1 Estudo Bibliográfico.....	17
1.6.2 Coleta e Análise de Dados.....	17
1.6.3 Desenvolvimento da Biblioteca.....	18
1.7 Cronograma.....	18
1.8 Estrutura do Trabalho.....	19
2 Definição do Problema.....	20
2.1 Requisitos do protocolo.....	20
2.2 Protocolos Especializados.....	21
2.3 Bibliotecas e implementações existentes.....	21
3 Levantamento do Estado da Arte.....	24
3.1 Ferramentas com foco em Telediagnóstico.....	24
3.1.1 T@lemed.....	24
3.1.2 MedNET – Latin America Health Care Network.....	25

3.1.3	HealthNet.....	26
3.1.4	OsiriX.....	27
3.2	Comunicação Multimídia em Tempo Real.....	29
3.2.1	Padrões tecnológicos.....	29
3.2.1.1	Controle de Sessão / Protocolo de Sinalização.....	29
3.2.1.2	Transporte.....	29
3.2.1.3	CODECs para Voz.....	30
3.3	Análise.....	31
4	Revisão Bibliográfica.....	33
4.1	Cyclops Medical Station.....	33
4.1.1	Sala de Laudos Virtual.....	33
4.1.2	Cyclops Application Protocol.....	34
4.2	Arquitetura TCP/IP	35
4.2.1	Camada de Aplicação.....	35
4.2.2	Camada de Transporte.....	36
4.2.3	Camada de Internet.....	36
4.2.4	Camada de Rede.....	37
4.2.5	Comunicação entre camadas.....	37
4.3	RTP.....	37
4.3.1	RTCP.....	39
4.4	Áudio Digital	39
4.4.1	Conversão Analógico/Digital.....	40
4.4.2	Frequência.....	41
4.4.3	Taxa de Bits	41
4.4.4	Codificação de Áudio - G.711.....	41
5	Desenvolvimento.....	43
5.1	Protocolo de Transporte.....	43
5.2	Buffers.....	44
5.3	Dificuldades encontradas.....	45
6	Testes e Resultados.....	46
6.1	Teste de latência e jitter.....	46
6.1.1	Resultados em rede local.....	49
6.1.2	Resultados na rede 3G.....	49
6.1.3	Jitter	50

6.2	Teste de qualidade da voz.....	51
7	Conclusão.....	53
7.1	Trabalhos futuros.....	53
	Referências	54

1 *Introdução*

A disseminação das redes, principalmente da internet, tem facilitado a comunicação eliminando as barreiras impostas pela distância. À medida que os computadores e as redes são popularizados, torna-se viável o proveito de seus benefícios em prol da sociedade. Um exemplo é a telemedicina, que pode ser conceituada como a aplicação da tecnologia de informação e comunicação à prática médica, tornando a medicina disponível em qualquer lugar (LIMA; et al., 2007).

O Cyclops Medical Station é um framework de aplicações criado pelo projeto Cyclops que possui ferramentas como: visualização e edição de imagens médicas, impressão, armazenamento através de banco de dados e reconstrução de uma série de imagens (ABDALA; REGERT; WANGENHEIN, 2004). Com base no CMS foi criada a Sala de Laudos Virtual, que estende suas funcionalidades já existentes capacitando a ferramenta a se conectar a uma ou mais de suas estâncias, através de conexão com a internet (ABDALA; et al., 2006). Isto permite que todos os usuários conectados entre si alterem a mesma imagem simultaneamente e se comuniquem através de mensagens instantâneas e conversa por voz.

Apesar de ser possível a comunicação utilizando a voz, nota-se que existe algum atraso e que pode ocorrer de os pacotes de voz não ser recebidos na ordem correta. Para resolver o problema, está sendo proposta uma biblioteca para garantir a ordenação dos pacotes, transmitir os dados em tempo real e controlar a qualidade de serviço.

1.1 **Motivação**

Para um país como o Brasil, com uma grande extensão territorial, a aplicação de recursos como a telemedicina tem a capacidade de beneficiar tanto aos pacientes quanto ao governo, responsável pela manutenção da saúde da população.

Um dos principais benefícios é a redução de custos por proporcionar que o tratamento e acompanhamento dos pacientes seja feito sem que estes precisem se

deslocar de suas cidades (MENDES, 2004) ou que médicos e equipamentos tenham que ir até ele para realizar exames e consultas, já que não é necessária a presença física de um profissional especializado.

Atualmente, no estado de Santa Catarina, a telemedicina é usada para atender de modo mais satisfatório as regiões onde há falta de profissionais especializados e programas como o CMS tem sido usados com este objetivo. Mas para que a comunicação entre os profissionais não seja prejudicada, é necessário que a comunicação seja clara e em tempo real de modo que exista uma preocupação com a qualidade oferecida pela audioconferência.

1.2 Justificativa

A telemedicina dispõe de várias formas de comunicação para alcançar seus objetivos, uma delas é a comunicação em tempo real, que torna possível o uso de conferências para o contato imediato entre profissionais, permitindo a troca de conhecimento e a formação de opiniões. No CMS, é usada a audioconferência, em vista que existe um ambiente colaborativo onde cada participante verá a mesma tela e apenas um deles tem o controle, podendo apontar e marcar pontos que considerar importantes no exame. Considerando o ambiente anterior, uma videoconferência torna-se desnecessária porque os exames já estão digitalizados e disponíveis para todos.

A atual forma de implementação da audioconferência não dispõe de nenhum controle de qualidade ou de transmissão dos pacotes de áudio em tempo real. Para que esta função possa ser usada eficientemente será feita uma melhoria usando o protocolo RTP que proporciona o transporte adequado a aplicações que necessitam o envio dos dados em tempo real e o RTCP que permite o controle dos dados facilitando o controle de qualidade.

1.2.1 Cenário de Aplicação

Um médico recebe as imagens dos exames de um paciente e as examina através do CMS, mas como as imagens não são claras o suficiente e o caso é complicado, surgem dúvidas quanto qual seria o diagnóstico correto. Do ponto de

vista dele existem duas doenças raras que se enquadram no caso e ambas têm uma probabilidade próxima de se manifestar neste paciente, de acordo com seu histórico. Ele contacta então seu colega Dr. Felipe através do próprio CMS e os dois iniciam uma sessão colaborativa, onde eles podem interagir a marcar características importantes dos exames, discutindo sobre suas conclusões através da audioconferência. Após alguns minutos de conversa, o Dr. Felipe chama a atenção para alguns detalhes não analisados anteriormente, circulando-os e explicando a importância destes detalhes para o diagnóstico de uma das doenças. O médico que solicitou ajuda pode então analisar os pontos expostos, discutir sua opinião e tirar dúvidas para que eles cheguem à conclusão juntos, de forma que o diagnóstico tenha sido aprovado pelos dois especialistas.

Utilizando este ambiente virtual é possível obter a vantagem de uma segunda opinião, gerando um diagnóstico mais preciso, sem que haja a necessidade de deslocamento de um ou mais especialistas ao local onde se encontram os exames.



Figura 1: Sessão colaborativa utilizando o CMS.

1.3 Objetivo

O desenvolvimento de uma camada de áudio para o framework CMS que possibilite uma audioconferência em tempo real e de boa qualidade entre os

participantes.

1.3.1 Objetivos Específicos

1. Analisar o *framework* CMS e as técnicas utilizadas para implementação de VoIP.
2. Implementar uma biblioteca para prover comunicação por voz no CMS, utilizando a arquitetura TCP/IP.
3. Testar a latência.
4. Avaliar a melhoria obtida.

1.4 Análise de Requisitos

Foi feita uma análise dos requisitos, ou seja, o exame das características que o *software* deverá ter para que os objetivos propostos sejam alcançados. Os requisitos abaixo estão relacionados aos objetivos específicos de acordo com a numeração.

1.4.1 Requisitos Funcionais

- 1.1 A biblioteca deve implementar a camada de transporte para o envio dos dados multimídia e fazer a codificação/decodificação da voz. O protocolo de sinalização será disponibilizado pela SLV, parte integrante do CMS.
- 2.1 Deve suportar uma audioconferência entre os usuários.
- 3.1 Detecção de falhas: A biblioteca deve prover informações sobre a qualidade da distribuição dos dados em um fluxo para que possa diagnosticar falhas na distribuição dos dados multimídia.

1.4.2 Requisitos Não-Funcionais

- 2.2 O transporte dos dados multimídia deve ser feito utilizando a arquitetura de internet, ou seja, TCP/IP.
- 2.3 A biblioteca deve ser dinâmica e ter a extensão 'dll' para ser embutida no CMS, que funciona no sistema operacional Windows.

4.1 Baixa latência: A biblioteca deve ser eficiente na entrega dos pacotes, tendo o menor atraso possível.

5.1 A voz recebida pelos participantes deve ser clara e inteligível.

1.5 Metodologia

Neste subcapítulo é apresentada a metodologia que será utilizada neste trabalho, a classificação da pesquisa e suas etapas.

1.5.1 Classificação da Pesquisa

De acordo com (PADUA, 2004) a classificação referente aos tipos de pesquisa existentes surgiu para auxiliar o desenvolvimento das atividades da mesma. Elas podem ser classificadas a partir de vários pontos de vista: natureza, objetivos e procedimentos técnicos adotados.

Do ponto de vista da natureza da pesquisa, este trabalho se enquadra como pesquisa aplicada, ou seja, deve desenvolver ou aprimorar um produto ou processo com base em conhecimentos já existentes ou desenvolvidos ao longo da pesquisa.

Em relação ao objetivo da pesquisa, sua classificação é exploratória. Segundo Sampieri (SAMPIERI, 1991) os estudos exploratórios tem o objetivo de aumentar o grau de familiaridade com fenômenos relativamente desconhecidos, estabelecer prioridades para investigações posteriores e verificar a possibilidade de levar adiante uma investigação mais completa, entre outras utilizações.

A informação utilizada neste trabalho será provenientes de materiais já publicados, composto principalmente por artigos científicos, livros, dissertações e conteúdo publicado na internet. Portanto, do ponto de vista do procedimento técnico adotado, classifica-se como uma pesquisa bibliográfica.

1.5.2 Etapas da Pesquisa

•Estudo Bibliográfico: De acordo com os objetivos desta pesquisa, o estudo bibliográfico aborda os atuais métodos usados para a comunicação de dados multimídia na internet e as formas adequadas de tratar especificamente o som

produzido pela voz humana.

- Coleta e Análise de Dados: Os dados analisados são provenientes de artigos científicos que abordam sobre métodos de implementação e ferramentas com objetivos semelhantes ao proposto por este trabalho.
- Desenvolvimento da Biblioteca: Com base no estudo bibliográfico e das experiências práticas é feito um estudo sobre o *framework* CMS, o qual fará uso da biblioteca proposta, e é dado o início à análise de requisitos da mesma. Após estas tarefas são definidas as ferramentas usadas como auxílio e a implementação é iniciada.

1.6 Plano de Trabalho

A seguir, são listadas as tarefas, em sequência, que retratam o planejamento de ações previstas para a realização do trabalho. Sua organização foi feita de acordo com as etapas da pesquisa descritas anteriormente.

1.6.1 Estudo Bibliográfico

- Estudo da teoria sobre arquitetura da internet;
- Estudo sobre métodos de comunicação multimídia na internet;
- Estudo sobre áudio digital;
- Análise dos codificadores recomendados para voz;

1.6.2 Desenvolvimento da Biblioteca

- Estudo da Aplicação CMS;
- Análise dos Requisitos;
- Definição das ferramentas utilizadas para auxílio do desenvolvimento;
- Implementação;
- Definição do método utilizado para o teste de latência.

- Análise dos resultados obtidos;

1.7 Cronograma

O cronograma a seguir foi feito de acordo com o plano de trabalho e divide as atividades no decorrer dos semestres das disciplinas de TCC I e TCC II.

2010	1º semestre						2º semestre				
Fases	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Estudo da teoria sobre arquitetura da internet											
Estudo sobre métodos de comunicação multimídia na internet											
Estudo sobre áudio digital											
Análise dos codificadores recomendados para voz											
Análise das aplicações em telemedicina que utilizam audioconferência											
Análise das atuais tecnologias utilizadas em VoIP											
Estudo da Aplicação CMS											
Análise dos Requisitos											
Entrega do relatório de TCC I											
Definição das ferramentas utilizadas para auxílio do desenvolvimento											
Implementação											
Definição e aplicação ao teste de latência											
Análise dos resultados obtidos											
Entrega do Relatório Final do TCC											

1.8 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em sete capítulos: introdução, definição do problema, levantamento do estado da arte, revisão bibliográfica, desenvolvimento, testes e resultados e conclusão. Neste primeiro capítulo de introdução são expostos os objetivos que devem ser cumpridos ao final deste trabalho e as razões que justificam seu desenvolvimento. No capítulo de definição do problema são expostas as alternativas e escolhas feitas para que os requisitos sejam cumpridos. O levantamento do estado da arte faz uma breve análise de ferramentas já existentes

com funcionalidades semelhantes à proposta aqui apresentada e apresenta as principais tecnologias utilizadas em VoIP.

No capítulo de revisão bibliográfica tem-se os conceitos necessários para o entendimento deste trabalho, que consistem num estudo de características de rede e codificação do áudio. Após isto, no capítulo 5, é feita a descrição do processo desenvolvimento do trabalho, onde também são apresentadas as ferramentas utilizadas.

A validação do trabalho é feita através de testes, no capítulo 6, onde são descritos os testes feitos e expostos os resultados, juntamente com a análise. A conclusão encontra-se no capítulo 7, onde também são propostos trabalhos futuros e o trabalho é finalizado.

2 Definição do Problema

Apesar da audioconferência ser uma das funcionalidades no CMS atualmente, seu uso é limitado devido alguns problemas. O principal deles é a falta de ordenação na entrega de pacotes, fazendo com que os pacotes sejam recebidos numa sequência incorreta caso haja variação no atraso. Isto pode ocasionar uma má qualidade do áudio recebido ou até torná-lo ininteligível.

A transmissão de dados multimídia em redes TCP/IP requer alguns cuidados, especialmente a transmissão em tempo real, já que o atraso é um fator que pode inviabilizar a interatividade. Como forma de melhorar o processo de transmissão da mídia através da internet, foram criados vários protocolos multimídia.

Como citado anteriormente, o principal problema encontrado foi a falta de sequenciamento dos pacotes, fator decorrente do uso de apenas o protocolo UDP a nível da camada de transporte. A outra opção existente neste nível é o protocolo TCP, o qual tenta entregar os pacotes na ordem correta, porém ele é desaconselhado para o transferência de dados em tempo real, visto que ele efetua um grande controle sobre os dados enviados, incluindo retransmissão dos pacotes perdidos. No caso de envio de áudio em tempo real, reenviar um pacote causaria um atraso, o que não é esperado numa comunicação interativa, e dados multimídia são tolerantes à perda de alguns pacotes sem uma perda considerável em qualidade.

Considerando as características dos protocolos citados, conclui-se que a melhor alternativa é o uso de UDP, o qual é usado atualmente, porém ele não pode cumprir os requisitos necessários sozinho. Para torná-lo adequado é preciso o uso de um protocolo auxiliar, capaz de transtornar os problemas encontrados no transporte de dados multimídia em tempo real sobre o UDP.

2.1 Requisitos do protocolo

Para que a mídia possa ser transportada utilizando a internet, será necessário um protocolo que atenda aos seguintes requisitos:

- Ordenação dos pacotes – os pacotes devem chegar ao destinatário na mesma ordem em que foram enviados.
- Obter informações sobre a transmissão e perda de pacotes.
- Transmissão o mais próximo possível ao tempo real.
- Compatibilidade com o protocolo UDP.

2.2 Protocolos Especializados

Desde o surgimento da internet até hoje, foram desenvolvidos diversos protocolos de *streaming*, alguns para companhias privadas e outros para a comunidade de internet, de forma aberta. Entre os protocolos proprietários podem ser citados o Microsoft Media Streaming (MMS), o qual pode enviar dados multimídia sobre TCP ou UDP, e o RealNetworks Data Transport (RDT).

A comunidade da Internet desenvolveu protocolos para *streaming* que passaram a ser amplamente usados pelos desenvolvedores e pesquisadores. Dois deles são o RTP e o RTSP, protocolos da camada de transporte e aplicação, respectivamente.

Entre estes protocolos, concluiu-se que o que mais se adéqua aos requisitos acima é o protocolo RTP, um protocolo utilizado para o transporte de mídias contínuas de tempo real. Ele fragmenta os dados em pacotes e adiciona informação de sequência e tempo de entrega, garantindo a ordem correta na execução dos dados e torna possível obter a informação sobre atraso e pacotes perdidos.

2.3 Bibliotecas e implementações existentes

O protocolo RTP tem sido muito utilizado e existem diversas implementações disponíveis. Para o desenvolvimento deste trabalho pesquisou-se sobre as implementações mais utilizadas atualmente, para evitar o retrabalho. As principais características de cada uma estão especificadas na tabela 1.

Biblioteca / Implementação	Linguagem	Licença	Sistema Operacional	Página Oficial
ccRTP	C++	GPL	GNU/Linux	http://www.gnu.org/software/ccrtp/
Feng	C	LGPL	GNU/Linux, FreeBSD, MacOSX, Windows e OpenSolaris	http://lscube.org/feng
JRTPLIB	C++	MIT X	GNU/Linux, Windows e Solaris	http://research.edm.uhasselt.be/~jori/page/index.php?n=CS.Jrtplib
oRTP	C	LGPL	GNU/Linux, Windows e Unix	http://www.linphone.org/eng/documentation/dev/ortp.html

Tabela 1: Comparação entre as principais bibliotecas que implementam o protocolo RTP.

A implementação escolhida será utilizada na implementação de uma biblioteca dinâmica que será usada no CMS e, por isso, deve ter as seguintes características:

- Ser compatível com o sistema operacional Windows.
- Estar disponível sob uma licença de *software* livre, a qual permita uso e edição sem que exija a disponibilização de todo o código onde ela foi utilizada.
- Suportar a codificação G.711 para áudio.

Baseando-se nestas características é possível descartar a biblioteca *ccRTP* por não ter duas das citadas acima. A licença GPL tem como pré-requisito a disponibilização do código fonte nos programas onde é usada e, além disso, seu uso é recomendado apenas em sistemas operacionais GNU/Linux.

O Feng é um servidor *streaming* multimídia compatível com os padrões de transporte multimídia em tempo real sobre internet. O projeto implementa RTSP e o RTP/RTCP e suporta áudio e videoconferência com um controle mínimo. Apesar disso, os padrões de codificação suportados para áudio são apenas dois: MP3 e Vorbis. Assim, esta implementação não atende à necessidade desse trabalho, já que não suporta a codificação G.711.

As duas últimas implementações da tabela são bibliotecas as quais têm licença de *software* livre flexíveis, ou seja, não requer a disponibilização do código e funcionam no sistema operacional windows. Assim, outras características foram

comparadas para que fosse feita a escolha.

Analisando melhor as bibliotecas foi escolhida a oRTP, implementada por Simon Morlat para ser utilizada no Linphone (LINPHONE, 2010), *software* livre que possibilita a comunicação por voz, vídeo e mensagens instantâneas. Dentre as vantagens encontradas pode-se citar a utilização da biblioteca em vários projetos, como a plataforma OCMP – produto da Hewlett Packard (HP), a qual contribuiu na implementação, incrementando e corrigindo os problemas encontrados. Também foi encontrado um fórum com discussões sobre as dificuldades encontradas, onde o próprio programador oferece sua ajuda para a resolução dos problemas. O oRTP oferece suporte a todas as codificações de áudio constantes na RFC3551, entre elas o formato G.711, formato atualmente utilizado no CMS.

3 Levantamento do Estado da Arte

Este capítulo apresenta um resumo e análise das últimas publicações relevantes na área de pesquisa deste trabalho.

3.1 Ferramentas com foco em Telediagnóstico

A seguir são listados alguns projetos com iniciativas de implantar serviços de telediagnóstico no Brasil.

3.1.1 T@lemed

O T@lemed é um projeto desenvolvido com a intenção de prover serviços de telemedicina em regiões carentes de atendimento médico no Brasil e na Colômbia. Para alcançar este objetivo, foram propostas aplicações já em uso em outros países: TeleConsult, no Brasil e TOPCARE, na Colômbia.

Segundo SACHPAZIDIS; et al., 2006 um dos serviços mais importantes que deveriam ser disponibilizados no Brasil seria a possibilidade de receber uma segunda opinião nos exames médicos, para que os diagnósticos sejam corretos. O TeleConsult, escolhido para prover os serviços no país, é uma aplicação que combina as funcionalidades de visualizar arquivos DICOM, capturar imagens de dispositivos médicos, permitir que os médicos efetuem comentários sobre os exames e se comuniquem através de mensagens instantâneas. A figura 2 mostra a interface gráfica do TeleConsult.

Analisando a solução proposta por esta ferramenta para o compartilhamento de opinião entre os médicos, o único meio para a troca de informação é o uso de texto, seja em tempo real ou *offline*. Esta abordagem pode não ser adequada por dificultar a comunicação, o tempo gasto para transmitir a mesma quantidade de informação é maior quando precisamos criar sentenças e digitá-las do que quando usamos a fala, um processo espontâneo. A aplicação funciona no sistema operacional Windows XP e Vista.

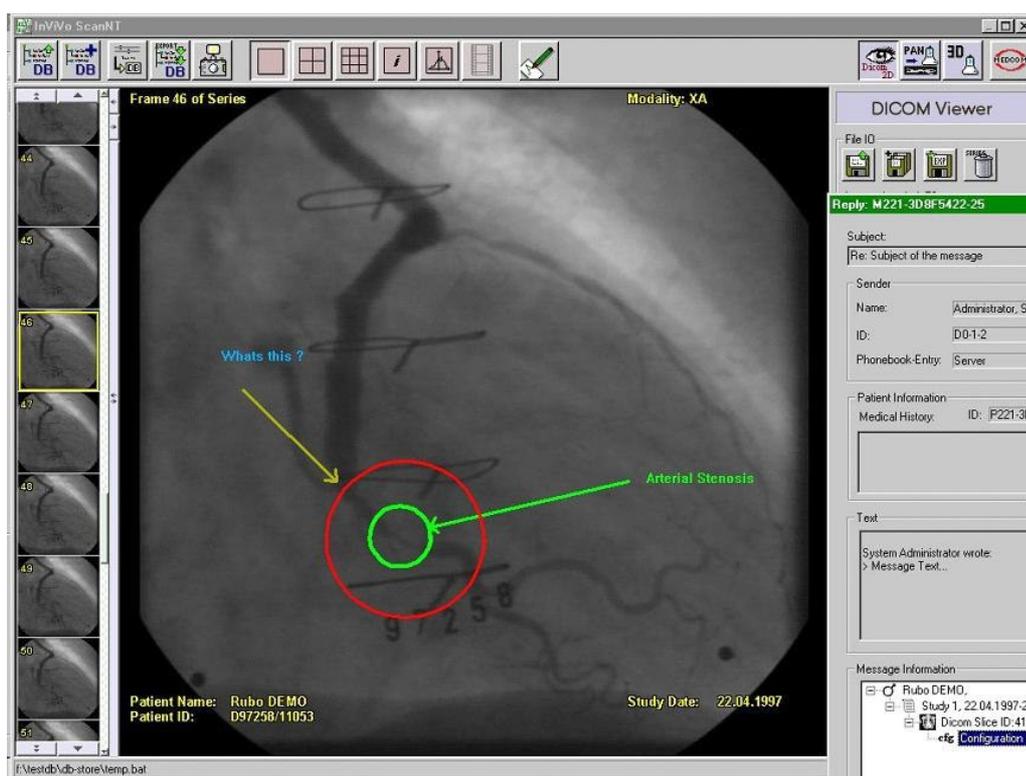


Figura 2: Anotações e comentários em tempo real no TeleConsult. (BINOTTO; et al., 2006)

3.1.2 MedNET – *Latin America Health Care Network*

O MedNET é um projeto de telemedicina, envolvendo pesquisadores da Alemanha, Espanha, Brasil e Peru, que está desenvolvendo uma rede médica com o objetivo de conectar clínicas em regiões isoladas no Brasil e no Peru a hospitais de referência localizados nas grandes cidades. Esta rede funcionará usando o Amerhis, sistema de comunicação multimídia embarcado no satélite Amazonas, e deverá fornecer uma conectividade mínima às áreas isoladas, como internet e Voz sobre IP (SOLANO; et al., 2009).

Duas abordagens foram feitas para atender às necessidades das aplicações na rede MedNET: online ou síncrona e offline ou assíncrona. Para a comunicação em tempo real é usada a abordagem síncrona, a qual permite que os médicos possam discutir os casos usando vídeo ou audioconferência.

As aplicações utilizadas no MedNET para prover as funcionalidades necessárias são: TeleConsult e NetMeeting. Assim como no T@lemed, o TeleConsult é a aplicação escolhida para a manipulação das imagens médias e teve sua análise feita anteriormente. Para que seja possível a comunicação é proposto o uso do

NetMeeting, uma ferramenta para comunicação em tempo real, desenvolvida pela Microsoft, que permite a comunicação entre indivíduos através da internet ou intranet (RIZOU; SACHPAZIDIS; SELBY, 2008).

Entre as limitações das aplicações anteriores está o fato do NetMeeting ter se tornado obsoleto e foi substituído, a partir do Windows Vista, pelo Microsoft Office Live Meeting. O uso de dois programas simultaneamente também não é ideal, eles não têm nenhuma integração entre si e não oferecem facilidades aos médicos.

3.1.3 HealthNet

O HealthNet é uma aplicação de telemedicina que dá suporte ao telediagnóstico e à segunda opinião médica (STAMFORD; et al., 2000). Tem como objetivo levar o conhecimento médico especializado a locais distantes e foi desenvolvido para suprir a falta de recursos em Recife e no interior de Pernambuco. Este projeto envolve diretamente os grupos de telemedicina e de gerência de redes do Recife ATM, o Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), o Setor de Tecnologias da Informação em Saúde (TIS) do Laboratório de Imunopatologia Keizo Asami (LIKA), o Hospital das Clínicas da UFPE e o Real Hospital Português (RHP) de Beneficência em Pernambuco.

A aplicação tem dois serviços distintos: o telediagnóstico e a segunda opinião. No telediagnóstico um médico residente recolhe um conjunto de informações de seu paciente e as envia a um médico ou setor de um dos hospitais. Os dados são então analisados pelo médico especialista o qual envia seu diagnóstico, através de linhas ISDN, ao médico solicitante.

O serviço de segunda opinião é utilizado para que médicos especialistas possam discutir sobre casos de pacientes e usa a rede ATM. Este serviço deve funcionar da seguinte forma: um médico compartilha algum caso raro ou de difícil diagnóstico e escolhe médicos disponíveis no momento para ajudá-lo. Mais tarde todos terão acesso aos dados do paciente e poderão discutir como num fórum.

A aplicação possui uma proposta interessante para o contexto brasileiro, porém a dependência de uma rede ATM aumenta significativamente o custo de implementação, limitando o serviço de segunda opinião aos lugares onde a rede está disponível. Já o uso de ISDN para o telediagnóstico tem as vantagens de

transmitir os dados ponto a ponto como uma ligação telefônica comum, sem o uso de internet. Além do baixo custo dessa tecnologia, tem-se a vantagem de ter uma grande disponibilidade no país.

3.1.4 OsiriX

O OsiriX é um processador de imagens extremamente especializado e orientado aos profissionais do âmbito médico. Permite a leitura e análise de imagens em 2D e 3D dos dados gerados por *scanners* médicos de vários tipos. Ele é totalmente compatível com redes PACS, o que lhe permite receber imagens DICOM. Entre suas funcionalidades, destacam-se os filtros em tempo real, zoom e rotação com interpolação linear. Seu projeto teve início em 2004, na Universidade da Califórnia (UCLA), e foi desenvolvido por um radiologista e um cientista da computação.

Apesar da compatibilidade com redes PACS, que permitem o acesso remoto às imagens, as recentes mudanças e melhorias como a alta resolução das imagens e navegação 3D geram um grande volume de dados, tornando estas redes inadequadas. Por isso, novas tecnologias foram utilizadas para expandir suas funcionalidades (ROSSET; ROSSET; RATIB; 2005).

Entre estas novas tecnologias foi adotado o uso do iChat AV, mensageiro instantâneo com suporte à videoconferência desenvolvido pela Apple Computer, para permitir uma visão compartilhada das imagens DICOM exibidas e prover a comunicação através de audioconferência. Através de um botão disponível no OsiriX é possível que o usuário conectado através do iChat veja, ao invés da imagem de uma *webcam*, o conteúdo exibido na janela do programa, ao tempo que os especialistas utilizam a comunicação por voz e mensagem instantânea.

Em testes feitos pelos desenvolvedores, utilizando o iChat com o OsiriX, foi possível o uso da teleconferência com sucesso entre um dual-G5 PowerMac e um G4 667-MHz PowerBook conectados em rede local (LAN) a 100 mbps¹ e entre computadores localizados a mais de 12000 quilômetros de distância, com um *frame rate* entre 18 a 20 imagens por segundo. As imagens transmitidas são comprimidas utilizando o formato MPEG-4, degradando a qualidade da imagem, que pode ser

1 Mpbs - Mega bits por segundo.

insuficiente para fins de diagnóstico.

Para um melhor entendimento de como funciona a sessão colaborativa no OsiriX, testou-se o ambiente em dois MacBooks disponíveis no Cyclops. Foram encontradas algumas dificuldades no processo, como encontrar a forma correta de sincronizar o iChat com o OsiriX e também de estabelecer uma conexão compartilhando as imagens DICOM por vídeo (Figura 3). Diferentemente do CMS, nesta sessão apenas um dos especialistas tem o controle, enquanto o outro apenas assiste, independente do que acontece no seu próprio OsiriX, para então sua opinião por mensagens instantâneas ou voz, através de teleconferência.

O OsiriX é um programa em código aberto e, assim como o iChat, compatível apenas com o sistema operacional Mac OS X, fator que dificulta sua ampla utilização no Brasil, pois o custo para a implantação desse sistema aumenta significativamente.



Figura 3: Teleconferência usando OsiriX com iChat.

3.2 Comunicação Multimídia em Tempo Real

3.2.1 Padrões tecnológicos

Com a difusão da conexão banda larga houve um grande aumento na busca de soluções de comunicação por voz utilizando IP. A seguir serão apresentadas as principais tecnologias utilizadas atualmente em implementações de VoIP.

3.2.1.1 Controle de Sessão / Protocolo de Sinalização

O SIP é o principal padrão atual usado em Voz sobre IP (VELTRI; FADDA, 2007), padronizado pela IETF e usado na maior parte das implementações de VoIP. Ele é um protocolo de iniciação de sessão, responsável pelo estabelecer, controlar e terminar sessões de voz ou vídeo entre os usuários. O SIP envolve um ou mais participantes e pode usar comunicação *unicast* ou *multicast*.

O protocolo H.323 tem o mesmo objetivo do SIP e num passado recente era o protocolo de iniciação de sessão mais utilizado em conferências multimídia (VELTRI; FADDA, 2007), porém o SIP tem se tornado o protocolo de referência por sua simplicidade em relação ao H.323.

Em um teste feito por ALAWIEH; AHMED; MOUFTAH; 2008 utilizando cada um dos protocolos, o H.323 mostrou-se mais eficiente para serviços de voz. Esses resultados são devido ao fato dos H.323 produzir um valor menor de *jitter*² para os pacotes RTP do que o SIP. Apesar disto, ambos não apresentaram diferença significantes no atraso e perda de pacotes.

3.2.1.2 Transporte

O RTP é o protocolo de transporte, com funções de transporte em tempo real, usado para o transporte de dados multimídia. É o modo mais eficaz de transmitir dados de áudio e vídeo através da internet (OLEINICOV et al., 2009). A utilização do RTP depende do estabelecimento de sessão por um protocolo de sinalização e combinando-os é possível estabelecer qualquer chamada telefônica sobre IP.

2 *jitter* – Variação do retardo na entrega de dados numa rede.

3.2.1.3 CODECs³ para Voz

Para transportar a voz através da internet é necessário o uso de um codificador e decodificador, os quais são responsáveis pela amostragem, digitalização e codificação da voz, de forma que os dados tenham um tamanho menor.

A seleção do CODEC adequado é crucial, principalmente quando a largura de banda é limitada. Existem muitas técnicas de compressão de áudio propostos na literatura, entre os principais estão os usados pela ITU-T (KAOSAR; SHELAMI; 2009). Existem várias técnicas disponíveis que variam em complexidade e, conseqüentemente, na qualidade do áudio.

Em uma audioconferência o áudio que deve ser codificado e transmitido é a voz humana. A voz humana tem características específicas que devem ser consideradas na compressão para um melhor desempenho. Por exemplo, um ser humano falando emite voz durante aproximadamente 40% do tempo de fala, pois existe a pausa entre as palavras e sentenças que é silenciosa (COLCHER; et al., 2005) . Detectando o silêncio e não codificando-o, de forma que ainda assim possa ser detectado na decodificação, é possível diminuir muito a quantidade de dados gerados. Porém essa técnica, aplicada à telefonia sob a denominação de TASI⁴, tem a desvantagem de transformar o tráfego de voz contínuo num tráfego em rajadas o que torna a tarefa do controle de QoS³ da rede de comunicação mais complexa.

Outra técnica existente para comprimir a voz humana é conhecida como LPC⁵, o método usado por ela é codificar, no lugar das amostras, os parâmetros de um modelo que é capaz de gerar aquelas amostras. Então, um decodificador LPC usa os parâmetros para gerar a voz de forma sintética. Apesar do resultado ser inteligível, o que se ouve é uma voz artificial.

Similar à LPC tem-se o CELP⁶, onde também são gerados os parâmetros pelo codificador, mas são computados e codificados os erros entre a voz original e a gerada de modo sintético. Como resultado tem-se uma boa qualidade de voz e uma baixa taxa de bits.

3 CODEC é a abreviação de Codificador - Decodificador

4 TASI – *Time Assignment SPEech Interpolation*

5 LPC – *Linear Predictive Coding*

6 CELP – *Code Excited Linear Predictor*

Padrão	Algoritmo	Taxa de compressão (KBPS)	Recursos requeridos de processamento	Qualidade de voz resultante	Atraso adicionado
G.711	PCM	48, 56, 64 (sem compressão)	Nenhum	Excelente	Nenhum
G.722	SBC/ADPCM	64	Moderado	Excelente	Alto
G.723	MP-MLQ	5.3, 6.3	Moderado	Boa (6.3) Moderada (5.3)	Alto
G.726	ADPCM	16, 24, 32, 40	Baixo	Boa (40) Moderada (24)	Muito baixo
G.728	LD-CELP	16	Muito alto	Boa	Baixo
G.729	CS-ACELP	8	Alto	Boa	Baixo

Tabela 3: Padrões ITU-T para voz.

Dentre as os padrões do ITU-T destaca-se, para representação de voz humana, o G.711 que é um CODEC fundamental de áudio usado em telefonia digital, estando bastante relacionado ao padrão PCM, base para outros padrões de codificação. Segundo Gomes (GOMES, 2002) a vantagem do G.711 é justamente a existência de apenas dois níveis distintos para o sinal modulado, de modo que o ruído que interfere sobre ele é reduzido porque ele pode reassumir sua forma original, sendo constantemente regenerado. Apesar destas vantagens, no VoIP é recomendada a utilização de CODECs com uma maior taxa de compressão, devido as limitações da rede.

As técnicas citadas anteriormente são padrões recomendados para a codificação digital de voz especificados pelo ITU-T. Eles são apresentados resumidamente na tabela 3.

3.3 Análise

Após a pesquisa das atuais aplicações na área de telediagnóstico e das atuais tecnologias usadas a comunicação de voz na internet, é possível concluir que o trabalho aqui proposto contribuirá para a melhoria de uma ferramenta já utilizada, disponibilizando a audioconferência com baixa latência utilizando tecnologias atuais.

As aplicações utilizadas no Brasil pesquisadas anteriormente não têm o

serviço de voz dentro da ferramenta (outra aplicação é utilizada) ou necessitam uma rede ATM para o funcionamento. Ou seja, nenhuma delas apresentou a característica de disponibilizar a comunicação por voz utilizando a arquitetura TCP/IP.

4 Revisão Bibliográfica

Para desenvolver este trabalho foi necessário um estudo sobre a aplicação para a qual será desenvolvido, bem como a comunicação de dados multimídia em tempo real na internet, deste modo, fez-se necessário compreender características desta rede e analisar os protocolos envolvidos. O processo de digitalização e codificação do som também precisou ser analisada. Esses temas são abordados em tópicos no decorrer deste capítulo.

4.1 Cyclops Medical Station

O CMS é um aplicativo, desenvolvido pelo grupo Cyclops, de auxílio à análise diagnóstica e gerenciamento de imagens médicas compatível com o padrão internacional de imagens DICOM 3.0. Sua funcionalidade principal é permitir que radiologistas e médicos possam executar laudos de exames de tomografia computadorizada, ressonância magnética e ultrassonografia a partir de um computador. Entre suas vantagens destacam-se: a disponibilidade dos exames em qualquer local, o aumento da eficiência na execução do laudo e a possibilidade de usar ferramentas digitais para auxiliar no diagnóstico.

4.1.1 Sala de Laudos Virtual

Feita inicialmente como uma extensão para a ferramenta de visualização de imagens Cyclops Personal, que posteriormente teve seu desenvolvimento interrompido e suas funcionalidades foram integradas ao desenvolvimento do CMS, a SLV foi remodelada pela diferença na programação das ferramentas.

O funcionamento da SLV pode ser descrito simplificada da seguinte forma: um usuário seleciona as imagens a serem exibidas e outros usuário se conectam à sua SLV. Assim, estas imagens serão enviadas para os usuários que não as possuem e a sessão é iniciada. A partir daí, cada alteração feita pelo usuário em posse do controle será transmitida para todos os outros e eles podem se

comunicar através de conversa textual e áudio.

O protocolo utilizado na SLV e, conseqüentemente na biblioteca aqui desenvolvida, como protocolo de sinalização é o Cyclops Application Protocol, também conhecido como CycAppDCM e descrito a seguir.

4.1.2 Cyclops Application Protocol

Foi criado com a intenção de obter a interação direta com o cliente à nível de aplicação e independente de marca proprietária. O protocolo de aplicação permite o uso de instrumentos comuns e modificações que podem ser aplicadas a exames radiológicos.

O protocolo segue um modelo semelhante ao modelo de referência OSI, a partir da quarta camada até a camada de aplicação. As camadas inferiores são suportadas pela pilha de protocolos TCP/IP. A conexão entre dois *softwares* utilizando o protocolo é representada pelo diagrama de estados na figura 4 e a descrição de cada estado pode ser vista na tabela 2.

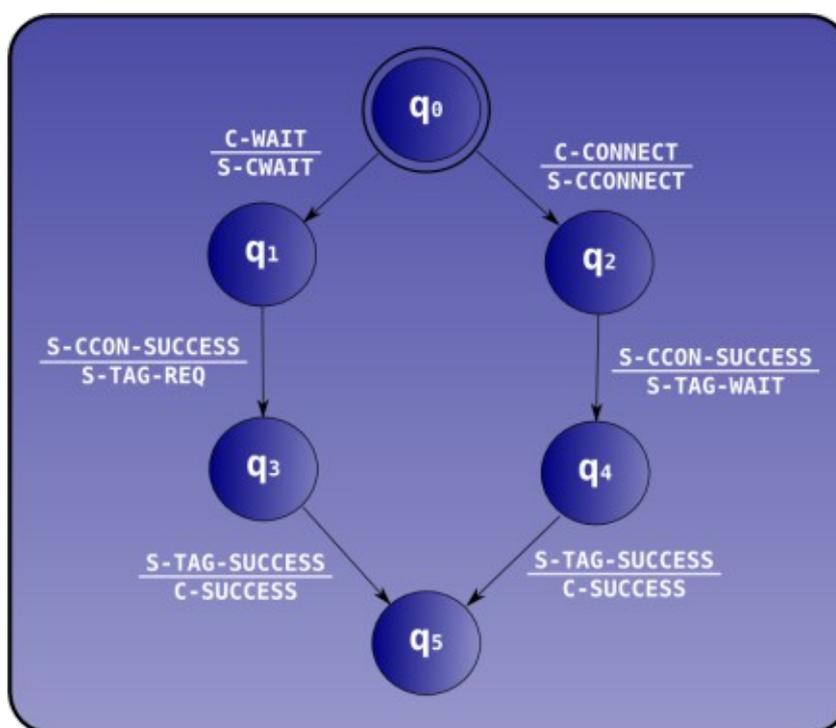


Figura 4: Diagrama de estados para uma conexão direta no CycAppDCM. (CYCAPPDCM, 2010)

Estado	Descrição
q0	Conexão não estabelecida.
q1	Esperando por estabelecimento de conexão.
q2	Estabelecendo conexão .
q3	Requerendo uma nova etiqueta, a ser usada para controle do protocolo de aplicação.
q4	Esperando pela etiqueta de controle.
q5	Conexão estabelecida.

Tabela 2: Estados durante o estabelecimento de uma conexão direta no CycAppDCM. (CYCAPPDCM, 2010)

4.2 Arquitetura TCP/IP

Foi criada para possibilitar a conexão ente redes com tecnologias diferentes, permitindo que os processos em execução num computador pertencente a uma rede comuniquem-se com processos que estão em execução num outro computador que faz parte a uma rede física diferente, criando uma conexão lógica entre eles. Esta arquitetura recebeu este nome pois os protocolos TCP e IP são dois dos principais padrões usados por ela, eles podem ser utilizados sobre qualquer estrutura de rede desde uma simples ligação ponto a ponto até uma rede de pacotes complexa.

Para que seja possível interligar duas redes distintas é preciso conectar uma máquina a ambas, a qual deverá transferir mensagens entre elas, esta é conhecida como *gateway* ou roteador. O roteamento correto das mensagens depende de informações sobre a forma que as redes estão interconectadas, ou seja, o roteador precisa ter acesso a essas informações.

A arquitetura TCP/IP é organizada em 4 camadas: Aplicação, Transporte, Internet ou Inter-rede e Rede ou Sub-rede, as quais são detalhadas abaixo:

4.2.1 Camada de Aplicação

Através de programas de aplicação, os usuários podem acessar os serviços disponíveis na internet. Estas aplicações interagem com a camada de transporte enviando e recebendo dados. Para a implementação proposta será utilizado o protocolo RTP, o qual será melhor abordado no item 4.3.

4.2.2 Camada de Transporte

Tem como função possibilitar a comunicação fim a fim entre as aplicações. Para isso, foram desenvolvidos dois protocolos: TCP e UDP. A principal diferença entre eles é que o primeiro é orientado à conexão, opondo-se ao segundo. Como resultado o TCP é um protocolo confiável, visto que dispõe de serviços como controle de erro e de fluxo. Por outro lado, o UDP é um protocolo bem mais simples e não garante que os pacotes enviados serão recebidos, nem sua sequenciação, por oferecer um serviço de datagrama.

4.2.3 Camada de Internet

Responsável pelo encaminhamento de dados através da internet, desde a origem até o destino. A camada de transporte efetua pedidos informando o endereço da estação destino do pacote, que em seguida é encapsulado num pacote IP. O próximo passo é saber para qual sub-rede o pacote deve ser enviado, isto é feito através de um algoritmo de encaminhamento que verifica se o datagrama pode ser entregue, o que ocorre quando o destino pertence à sua sub-rede, ou se deve ser repassado para o roteador. A camada de internet também tem a função de processar os pacotes recebidos, resolvendo se o datagrama deve ser passado ao protocolo de transporte ou enviado via alguma sub-rede conectada ao roteador.

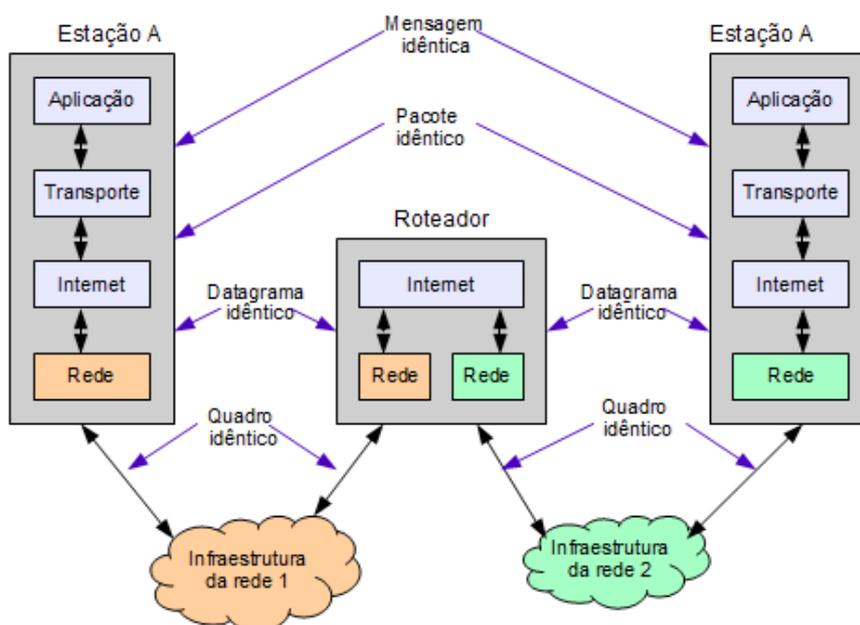


Figura 5: Arquitetura Internet TCP/IP.

4.2.4 Camada de Rede

Não há restrições quanto às redes que podem ser conectadas para formar a internet. O objetivo é que qualquer tecnologia possa compor a camada de rede desde que exista uma interface que torne esta tecnologia compatível ao protocolo IP.

4.2.5 Comunicação entre camadas

Cada camada tem um ou mais protocolos, os quais comunicam-se diretamente, quando na mesma máquina, com os protocolos abaixo e acima dele, os dados são coletados por um nível lógico e processados por um nível intermediário para então serem transferidos para o nível lógico seguinte. Na comunicação entre máquinas remotas os protocolos comunicam-se com seus pares correspondentes utilizando a infraestrutura de comunicação. A figura 5 mostra a estrutura da arquitetura TCP/IP e a comunicação entre as camadas.

4.3 RTP

O RTP ou Protocolo de Transporte em Tempo Real é um protocolo de rede que oferece funções de transporte de rede fim-a-fim adequado a aplicações que precisam transmitir dados em tempo real, como áudio, vídeo ou dados de simulações, sobre serviços de rede unicast ou multicast. As aplicações geralmente executam o RTP sobre o UDP para aproveitar seus serviços de multiplexação e checksum (SCHULZRINNE; et al., 1996).

O uso do RTP se faz necessário devido a falta de informações de tempo nos protocolos de transporte na internet e a falta de numeração dos datagramas usados pelo UDP, protocolo de transporte sobre o qual o RTP atua mais frequentemente. Além disso, o protocolo permite que os receptores compensem o *jitter* na entrega dos pacotes. O protocolo pode ser utilizado para qualquer fluxo de dados, mas no geral são usados com pacotes de dados contendo mídias contínuas em tempo real, em conexões *unicast* ou *multicast*.

Um pacote RTP consiste num cabeçalho fixo, uma lista de identificadores que possivelmente está vazia e os dados, que podem ser amostras de áudio ou dados

de vídeo, por exemplo. A figura 6 apresenta o formato de um pacote RTP. A descrição dos campos pertencentes ao cabeçalho é a seguinte:

V – *Version* (2 bits): atual versão do RTP.

P - *Padding* (1 bit): indica se as posições finais do pacote foram preenchidas com um ou mais *bytes* que não fazem parte da carga. O último *byte* é a quantidade de *bytes* na carga de dados que pode ser ignorada.

X – *Extension* (1 bit): indica se existe extensão de cabeçalho.

CC – *CSRC count* (4 bits): o número de identificadores CSRC após o cabeçalho fixo.

M – *Marker* (1 bit): marca um conjunto de dados relacionados, como o fim de um quadro de vídeo.

PT – *Payload Type* (7 bits): identifica o formato da carga RTP e a sua interpretação pela aplicação. Os tipos de *payload* são geralmente CODECs usados para digitalizar áudio ou vídeo.

Sequence Number (16 bits): é incrementado em um a cada pacote RTP enviado. O receptor pode usá-lo para verificar a perda de pacote ou reparar a sequência.

Timestamp (32 bits): tempo de amostragem, utilizado para sequenciar os pacotes no destino e para cálculo de *jitter* e sincronização. Seu conteúdo reflete o instante de amostragem do primeiro *byte* contido no pacote RTP e o valor associado ao primeiro pacote é escolhido aleatoriamente.

SSRC – *Synchronization Source* (32 bits): identifica um fluxo específico numa sessão RTP. O receptor utiliza os dados para agrupar pacotes com o mesmo SSRC para reprodução.

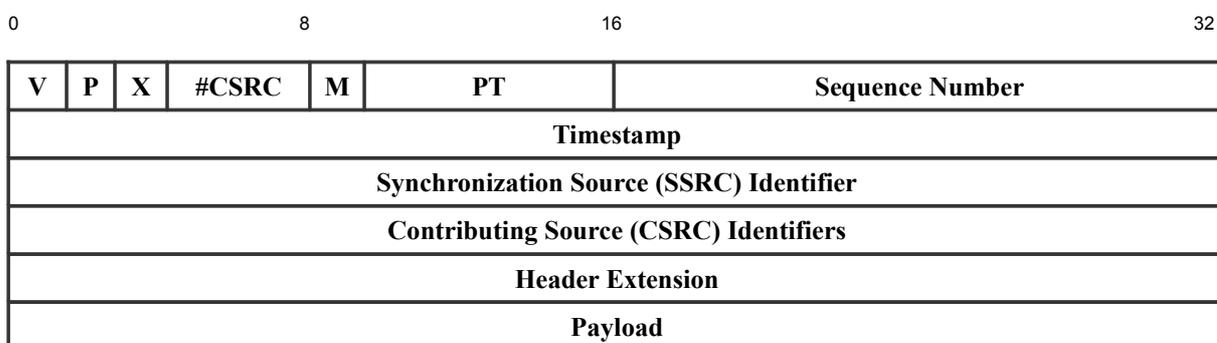


Figura 6: Formato do pacote RTP.

CSRC – *Contributing Source* (32 bits): identificadores inseridos por mixers, pode não

estar presente se não houver necessidade.

Ao final do recebimento dos dados de determinado fluxo no destino, a sequência correta dos pacotes recebidos é determinada através pelo número de sequência e o timestamp determina o espaçamento entre os pacotes do fluxo.

O protocolo RTP oferece apenas funções de transporte, ou seja, não é capaz de reservar os recursos que serão necessários para a transmissão dos dados, nem de garantir a qualidade de serviço (QoS) para a transmissão de dados em tempo real. O responsável pelo monitoramento da entrega de dados é o o RTCP, um protocolo de controle que complementa o transporte de dados e atua oferecendo funcionalidades de controle e identificação.

4.3.1 RTCP

Para que seja possível monitorar a transmissão dos pacotes de dados, o RTCP se baseia na transmissão de pacotes de controle periodicamente para todos os participantes da sessão, da mesma forma que são distribuídos os pacotes dos fluxos de dados, ou seja, o mesmo endereço, porém em outra porta.

A principal função do RTCP é prover informações sobre a qualidade da distribuição dos dados de um fluxo e para que seja possível encontrar alguma falha, cada receptor deve enviar um retorno. Para que o RTP seja escalável para um grande número de participantes, a taxa de envio dos mesmos deve ser controlada.

A utilização do RTP e o RTCP nunca afeta a rede IP sendo que ela pode perder pacotes, ter atraso ou perder a sequência de um pacote RTP da mesma forma como com qualquer outro pacote, ou seja, não controla a qualidade de serviço. O papel do RTCP é simplesmente transmitir informações a respeito da rede de maneira que medidas corretivas apropriadas possam ser adotadas.

4.4 Áudio Digital

A representação dos dados de áudio no formato digital oferece muitas vantagens como ter boa reprodutibilidade, precisão e baixo custo. A qualidade do áudio digital varia de acordo com as características: taxa de amostragem, frequência

e taxa de bits. Elas são descritas a seguir.

4.4.1 Conversão Analógico/Digital

É o processo de transformação de um sinal analógico em um sinal digital. Este processo, genericamente, consiste em três fases:

- Amostragem:** discretiza a informação contínua em um conjunto de dados através da medição de sinal em intervalos regulares. A cada intervalo as amplitudes das frequências que compõem a onda naquele instante são somadas e armazenadas. A taxa de amostragem é o número de vezes que se realiza a amostragem em uma unidade de tempo, geralmente é medida em Hertz o que significa que o valor dado em Hertz é a quantidade de amostras tomadas a cada segundo.
- Quantização:** com o sinal analógico amostrado, também conhecido como sinal PAM⁷, essa infinidade de possíveis valores deve ser quantizada em valores que podem ser representados por uma quantidade finita de bits, para a obtenção de um sinal digital. Realiza-se, então, o processo que leva à aproximação dos diversos valores amostrados aos níveis de valores estabelecidos. Um pulso acima de um nível de decisão é aproximado para o nível superior e o que está abaixo é aproximado para o nível inferior imediato. Esta aproximação para o número inteiro mais próximo origina um erro de quantificação que é minimizado se for utilizado um número elevado de patamares ou níveis.
- Codificação:** transforma o sinal quantizado em sinal binário, considerando a sequência em que foi gerado pelo pulso. A figura 7 mostra cada uma das fases aqui descritas.



Figura 7: Digitalização do sinal. (DÍGITRO, 2003)

O G.711 é a técnica mais comumente utilizada num processo de digitalização

7 PAM - Pulse Amplitude Modulation

de áudio, pois produz uma aproximação razoável da voz humana. Já para se reproduzir adequadamente sons mais complexos, como músicas por exemplo, técnicas mais sofisticadas devem ser aplicadas.

4.4.2 Frequência

No áudio a frequência está associada à sua capacidade de possuir maior ou menor representação para sons graves e agudos e está limitada em seu valor máximo à metade da taxa de amostragem, para que não ocorra o *aliasing*, fenômeno onde a frequência é rebatida para uma região mais grave do espectro.

4.4.3 Taxa de *Bits*

A taxa de *bits* é a quantidade de *bits* usados para armazenar cada segundo de áudio, medida em kb/s⁸. No geral, quanto melhor a qualidade que se deseja manter, maior deve ser esta taxa. Alguns codificadores podem variar esta taxa de acordo com a complexidade do sinal, aumentando-a em momentos de maior complexidade.

4.4.4 Codificação de Áudio - G.711

Como citado anteriormente, PCM é a principal técnica utilizada na digitalização do áudio. Seu uso em aplicações de telefonia é padronizado pela ITU-T na recomendação G.711.

O ouvido humano tem uma maior sensibilidade para perceber diferenças de amplitude (volume) para sons de baixa intensidade e decresce logarithmicamente à medida que a intensidade aumenta. Como consequência os erros de quantização se tornam mais perceptíveis na parte baixa da escala de quantização e menos perceptíveis na parte alta. Por isso, a recomendação G.711 define que a distribuição das amplitudes dos subintervalos de quantização seja feita de forma logarithmica, com subintervalos menores na parte baixa da escala e maiores na parte alta.

Este processo é conhecido como *companding*⁹ e pode ser feito através de um dos dois algoritmos principais definidos por esta recomendação, o algoritmo μ -law,

⁸ kb/s – 1024 bits por segundo

⁹ *Companding* - *COMP*ressing and *exp*ANDING

padrão norte-americano e Japonês, e o A-law que é usado no resto do mundo. As duas formas são equivalentes, mas o algoritmo A-law exige um menor esforço computacional para implementação. O algoritmo de ambos é simples: uma função de mapeamento converte os números binários resultantes da quantização linear, feita com um número maior de intervalos, para transformá-los em números binários com 8 *bits*.

Em termos de *bit rate*¹⁰, o algoritmo não oferece vantagem em relação ao processo de digitalização linear, mas a qualidade do áudio é maior. São transmitidos 8000 amostras, a uma resolução de 8 *bits*, por segundo o que resulta num *bit rate* de 64 kb/s.

¹⁰ *Bit rate* - taxa de transferência de bits

5 Desenvolvimento

A transmissão de voz sobre IP funciona basicamente digitalizando e codificando o áudio para que estes dados possam ser empacotados e enviados ao destino pela internet. Então ao serem recebidos pelo destino, os dados são decodificados e convertidos em voz novamente. Apesar desta descrição simples, sua implementação deve requer o uso de vários protocolos e padrões, especificados e descritos no capítulo 4, mas além disso também é importante ater-se a alguns detalhes para garantir ao usuário uma qualidade semelhante aos serviços de voz tradicionais baseados em comutação de circuitos. Neste capítulo serão abordadas as principais mudanças na implementação do VoIP.

5.1 Protocolo de Transporte

Como já especificado, a escolha feita para ordenar os pacotes foi a utilização do protocolo RTP através de uma biblioteca existente, o oRTP. Ela implementa, além da RFC3550 (RTP), o suporte para múltiplos *profiles* definidos na RFC3551. A figura 8 mostra a organização dos protocolos utilizados para implementar o VoIP. O RTP faz parte da camada de transporte e fica logo acima do UDP. Já o protocolo CycAppDCM usa o TCP como transporte para assegurar a entrega dos dados.

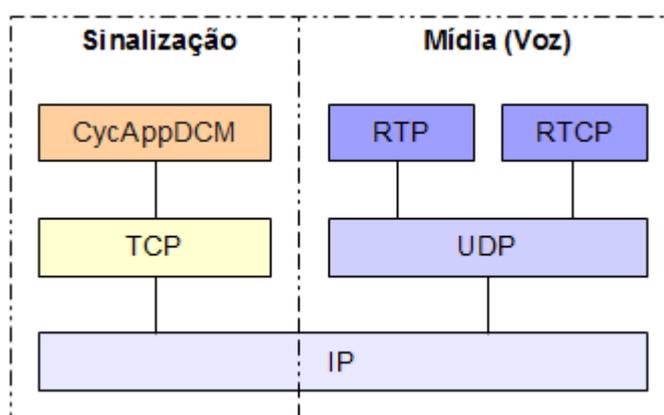


Figura 8: Organização dos protocolos utilizados na comunicação por voz.

A biblioteca resultante foi implementada em C e, posteriormente, ligada ao código do CMS, o qual foi desenvolvido em Delphi. São criadas duas sessões: uma para envio e outra para o recebimento dos pacotes. As principais funções da biblioteca são a criação de sessões, o recebimento e envio dos pacotes em formato RTP, com o controle do *timestamp* para garantir a ordenação. Também é possível ativar o mecanismo de *log* na biblioteca, assim será criado um arquivo contendo mensagens sobre o recebimento ou não de pacotes, o *timestamp* da mensagem enviada, IP e porta do destino e o total de pacotes enviados, recebidos, perdidos ou recebidos muito tarde. Foi criada uma nova *thread* diretamente no CMS para ficar ouvindo a porta que receberá os pacotes com dados de áudio. Assim, a biblioteca pôde tornar bloqueante o método responsável por receber os dados, enquanto o envio é feito de acordo com as solicitações da aplicação.

5.2 **Buffers**

Para o funcionamento do VoIP são necessários dois tipos de *buffers*: o *buffer* que armazena os dados empacotados pelo RTP e o *jitter-buffer*.

O *jitter-buffer* é uma área de dados compartilhada, onde pacotes de voz são coletados, armazenados e então enviados para o dispositivo processador de voz em curtos intervalos de tempo. Seu uso é necessário para contornar o problema do *jitter*, o qual ocorre comumente nas redes por problemas de congestionamento e mudanças de rota. Este *buffer* deve armazenar os pacotes recebidos, atrasando-os intencionalmente para diminuir a quantidade de pacotes perdidos, já que se os pacotes chegarem muito tarde serão descartados, tornando o som claro e com pouca distorção. A figura 9 mostra como o tamanho do *jitter-buffer* afeta a latência e o *jitter*. À medida que aumenta, a latência é incrementada, mas o *jitter* é controlado e a qualidade do áudio se torna melhor. O *jitter-buffer* usado no CMS foi reconfigurado para que suporte 60ms de áudio, passando a ter 480 *bytes* para a qualidade atual, que tem o *bit rate* de 64kb/s. Este tamanho é fixo e foi definido de forma que diminua o número de pacotes perdidos por atraso, evitando uma degradação da qualidade da voz, mas sem a adição de um *delay* relevante.

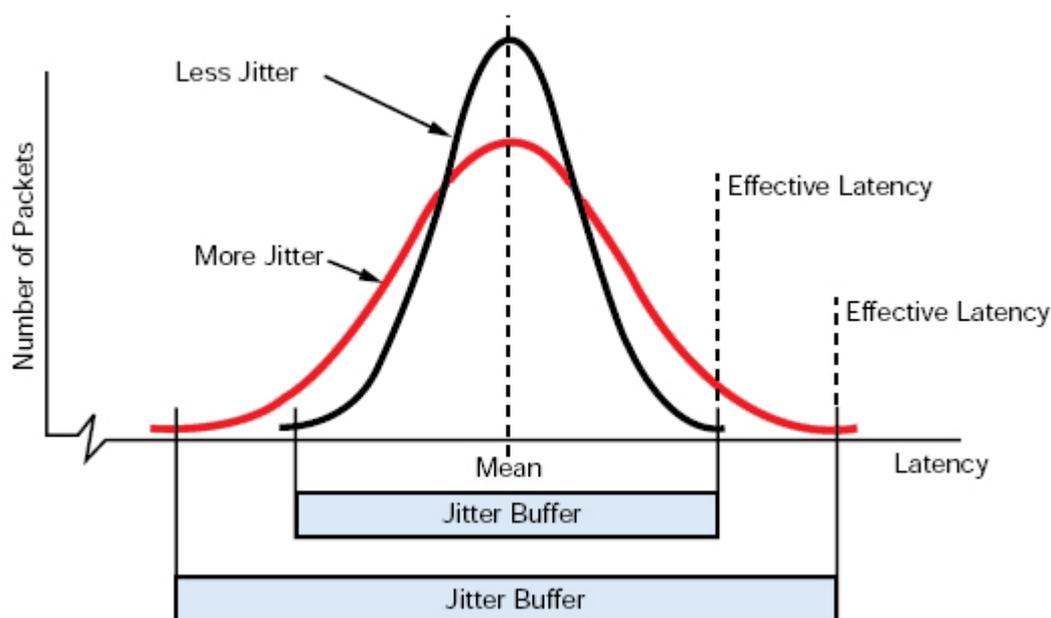


Figura 9: Relação entre o tamanho do *jitter-buffer*, a latência e o *jitter* (LEGG, 2005).

No *buffer* que armazena os dados para empacotá-los é importante considerar seu tamanho de acordo com o tempo que demorará para ele seja cheio. O intervalo mais comumente utilizado para empacotar o áudio no formato G.711 é de 10 a 20 ms, ou seja, uma variação do tamanho do *buffer* entre 80 a 160 *bytes*. Após alguns testes variando o intervalo a cada 5 ms, o melhor resultado obtido foi utilizando um *buffer* 120 *bytes*, ou seja, capaz de armazenar 15 ms de áudio.

5.3 Dificuldades encontradas

Durante o processo de desenvolvimento deste trabalho foram encontradas algumas dificuldades que resultaram no atraso do cronograma e, ao fim, os resultados finais dos testes foram conseguidos depois do esperado.

Inicialmente, houve alguma dificuldade na pesquisa do estado da arte, já que os programas de telemedicina com colaboração utilizando VoIP são um caso específico e foi necessário um tempo razoável para encontrar o material adequado. Não existia, também, a prática em escrever trabalhos de pesquisa e houve a necessidade de um estudo sobre a metodologia utilizada, assim como a leitura e

análise de algumas monografias para obter-se uma base sobre como iniciar o trabalho.

Apesar da facilidade na decisão pelo uso do RTP, por ser um padrão quando é preciso transmitir dados multimídia em tempo real, foi preciso analisar as implementações e, após a escolha, entender o funcionamento da biblioteca e o que realmente precisaria ser implementado para ser incorporado ao CMS.

Após alguns pequenos problemas, foi terminado o código para a transmissão de dados através do oRTP e gerada uma biblioteca, a qual foi testada utilizando um programa simples em C, em dois computadores. Alguns ajustes foram feitos e iniciou-se o processo de incorporação da biblioteca ao CMS. Nesse ponto foram encontradas algumas dificuldades em modificar o código do CMS, feito em Delphi, linguagem na qual não existia nenhum conhecimento prévio, necessitando ajuda de um dos desenvolvedores do programa. Nessa etapa houve um problema simples, mas que necessitou de vários dias para ser descoberto: anteriormente o *localhost* era especificado com o endereço '127.0.0.1', mas a sessão do oRTP não entende esse endereço e não consegue receber os pacotes. Então, foi vinculado o endereço '0.0.0.0' indicando que o processo deve ouvir todos os endereços IPv4¹¹.

11 IPv4 – Internet Protocol version 4.

6 Testes e Resultados

O método proposto para avaliação da qualidade de serviço deste trabalho consiste em comparar a qualidade da comunicação por voz na versão anterior do CMS com a da versão proposta neste trabalho, após a inserção da biblioteca que faz uso do protocolo RTP.

Apesar da tecnologia VoIP ser bastante difundida e existir uma variedade de *softwares* específicos com finalidade de monitorar os parâmetros que influenciam em sua qualidade, este não foi o método utilizado. Todos os *softwares* encontrados eram proprietários ou apenas funcionavam com protocolos específicos de sinalização, como SIP e H.323, não tornando possível a identificação dos pacotes com o protocolo específico utilizado neste trabalho, o CycAppDCM.

Os testes de latência e qualidade de voz foram feitos separadamente, em rede local e posteriormente com a utilização de uma rede 3G. As técnicas utilizadas e os resultados conseguidos são apresentados a seguir.

6.1 Teste de latência e *jitter*

O teste para medir a latência foi feito utilizando o Audacity, *software* gratuito e de código aberto, para a edição de áudio digital. Com base no teste de latência entre o tempo que o áudio entra no computador e o programa está pronto para gravá-lo, encontrado no manual do programa (AUDACITY, 2010), foi adaptado um teste utilizando dois computadores e dois *headsets*.

Os computadores rodaram o CMS simulando uma sessão de áudio enquanto o Audacity ficou em execução num deles gravando os dados para comparação e cálculo dos tempos de latência. A figura 10 representa a estrutura utilizada no teste. O computador 2 ficou com o fone mudo e o microfone ativado, enquanto foi feito o oposto no computador 1. O áudio foi gravado no microfone do computador 2 e foi ativada a opção de escutar o dispositivo no próprio computador. O microfone foi posicionado próximo ao fone do computador 1 para ser possível a gravação do

momento que o som é recebido. Emitindo um som de curta duração, como apenas uma batida no microfone, captou-se o momento que o som foi gerado e, logo após, o momento de recepção.

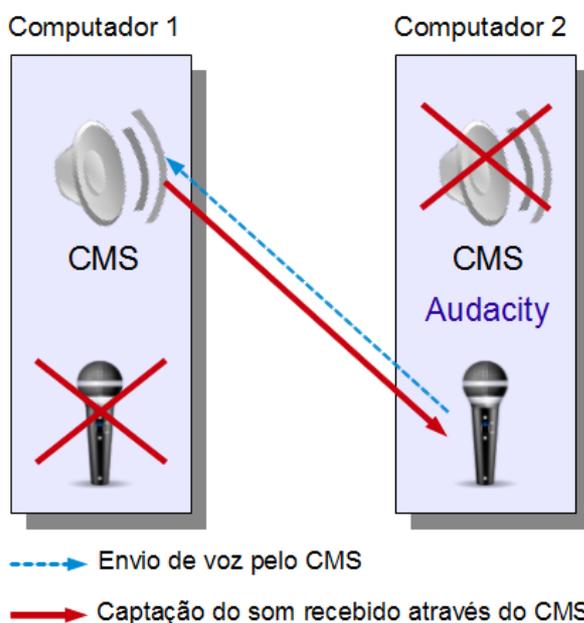


Figura 10: Representação da estrutura do teste de latência.

Após este teste obtém-se a representação do som enviado seguido da representação do som recebido, em menor amplitude por ter sido recapturado de um fone. Para medir-se a latência basta ativar a opção no Audacity que mostra o tamanho da seleção em milissegundos, então ao selecionando-se desde o início da emissão do som original até o início do som recebido, tem-se a latência decorrida. (Figura 11).

Ao todo foram feitos quatro testes de latência, variando entre as versões do CMS e as redes local e 3G, com duração de quinze minutos. Foram geradas amostras de latência a cada vinte segundos, durante dez minutos, através de um pequeno ruído no microfone, resultando em 31 amostras para cada teste. Os dados resultantes podem ser vistos na tabela 4 e através deles foram gerados dois gráficos, para rede local e 3G, com a variação da latência em função do tempo. A figura 12 e 13 nas próximas sessões mostram os resultados na rede local e na rede 3G, respectivamente.

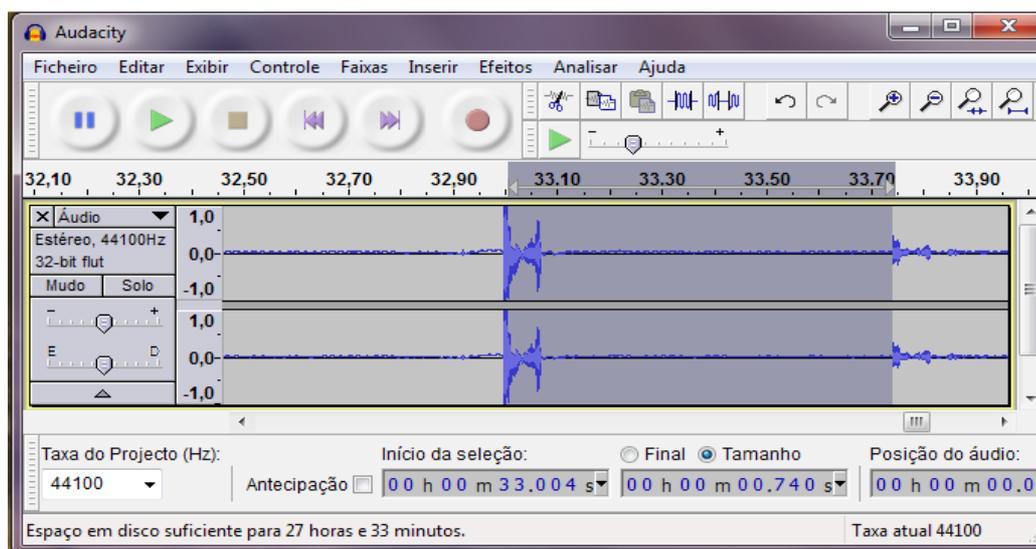


Figura 11: Diferença de 740 ms entre a saída e a chegada do áudio no outro computador, no Audacity.

Os efeitos decorrentes das latências resultantes dos testes são categorizados de acordo com a recomendação G.114 da ITU-T. Segundo essa recomendação, qualquer tipo de aplicação, não deve exceder um atraso de 400 ms. No entanto, o desejável é manter os atrasos constatados por aplicativos do usuário o mais baixo possível. Para atrasos inferiores a 500 ms de fala, seus efeitos são calculados utilizando uma curva de derivados a partir do E-model G.107, como é possível ver na figura 12, abaixo:

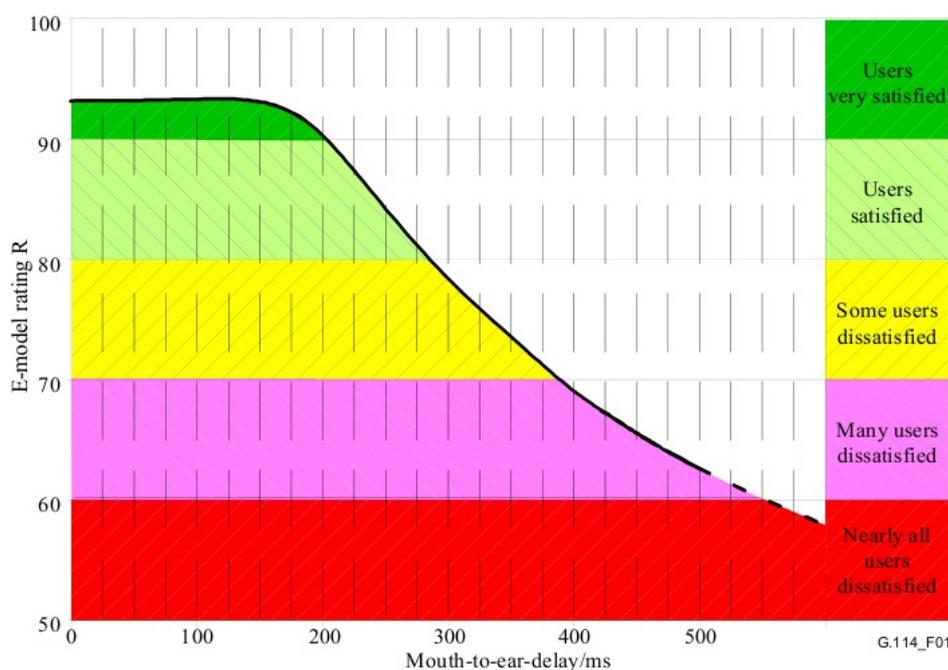


Figura 12: Determinação dos efeitos da latência segundo o E-model. (ITU-T Rec. G.114, 2003)

Minutos	Latência(ms) S/ RTP		Latência(ms) C/ RTP	
	Teste Rede Local	Teste Rede 3G	Teste Rede Local	Teste Rede 3G
0	532	774	358	518
	535	590	359	467
	545	660	342	529
1	571	661	367	531
	565	760	388	503
	567	757	401	499
2	545	862	343	528
	538	860	409	470
	547	862	387	603
3	506	860	370	606
	536	859	389	564
	548	862	383	542
4	535	774	360	534
	593	731	394	496
	472	727	428	470
5	577	748	401	481
	651	747	364	519
	650	725	384	481
6	651	940	426	507
	647	750	379	509
	647	747	364	477
7	648	676	413	522
	645	774	397	534
	648	777	401	525
8	626	716	383	544
	593	593	360	510
	590	674	408	534
9	612	783	395	460
	629	766	383	425
	626	781	375	462
10	599	788	394	476
Média	586,26	760,77	384,03	510,52
Desvio Padrão	50,63	80,16	21,94	39,88

Tabela 4: Resultados obtidos nos testes de latência.

Observando os dados da tabela 4, com os cálculos de média e desvio-padrão de cada teste, é possível concluir que houve uma melhora nos tempos de latência nos dois testes após o uso do RTP e ajuste dos tamanhos de *buffers* utilizados. A diminuição dos valores do desvio-padrão correspondem a uma menor variação entre o tempo de chegada dos pacotes, que será melhor medido no teste de *jitter*, e refletirá diretamente na qualidade de voz obtida, como será visto na seção 6.2. A seguir são detalhados os resultados obtidos em cada uma das redes, comparando as versões.

6.1.1 Resultados em rede local

Os resultados obtidos ao efetuar-se os testes em rede local tiveram uma

variação menor, tanto para a versão anterior quanto para a atual, mas houve uma melhora significativa na latência na nova versão. Anteriormente, a média de atraso era 586 ms¹² e após as melhorias, a média caiu para 384 ms. Com essa diminuição, a latência passou para o nível considerado aceitável pela recomendação G.114 da ITU-T, que considera aceitável um atraso de até 400 ms.

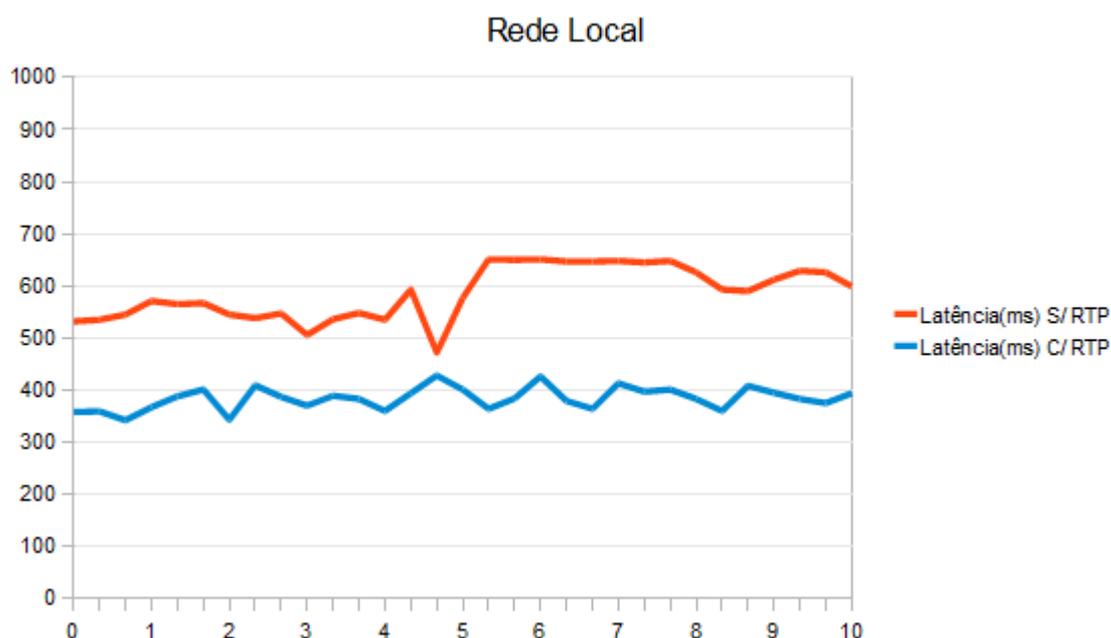


Figura 13: Gráfico representando a variação de latência em função do tempo, na rede local.

6.1.2 Resultados na rede 3G

Ao comparar-se as versões usando uma rede 3G de baixa velocidade, o tempo de resposta da rede aumentou significativamente, tornando mais evidentes as características vistas no primeiro teste, em rede local. O *jitter* e a latência foram significativamente maior em ambas versões, mas os problemas acentuaram-se principalmente na versão antiga. A melhoria no tempo de latência foi maior, nos resultados em rede local houve uma melhoria média de 202 ms, enquanto nestes testes notou-se uma melhoria de 250 ms. Estes resultados são reflexo do cálculo dos tamanhos usados para os *buffers* de acordo com as recomendações e testes para otimizá-los dentro dos padrões estabelecidos.

¹² 12 ms - milissegundos

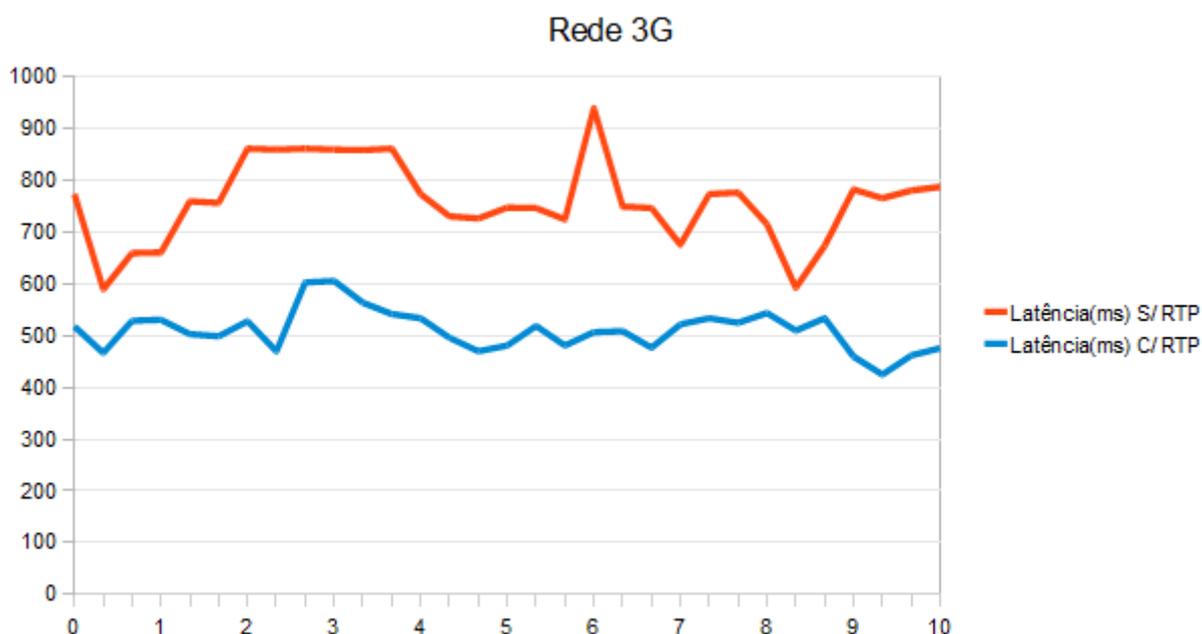


Figura 14: Gráfico representando a variação de latência em função do tempo, na rede 3G.

6.1.3 Jitter

Com a diferença entre as latências foi feito o cálculo do *jitter* e montado gráfico com os dados (Figura 15) comparando a diferença na variação do atraso em função do tempo onde é possível comparar o *jitter* nas versões do CMS. Esta análise foi feita apenas nos testes na rede 3G, onde foi verificada uma maior variação entre as latências. Em média, a nova versão do CMS teve um *jitter* de 32 ms, enquanto a anterior teve a média de 55ms. Esses valores são importantes pois refletem na perda de pacotes: quanto maior o *jitter*, maior a probabilidade de que pacotes sejam perdidos.

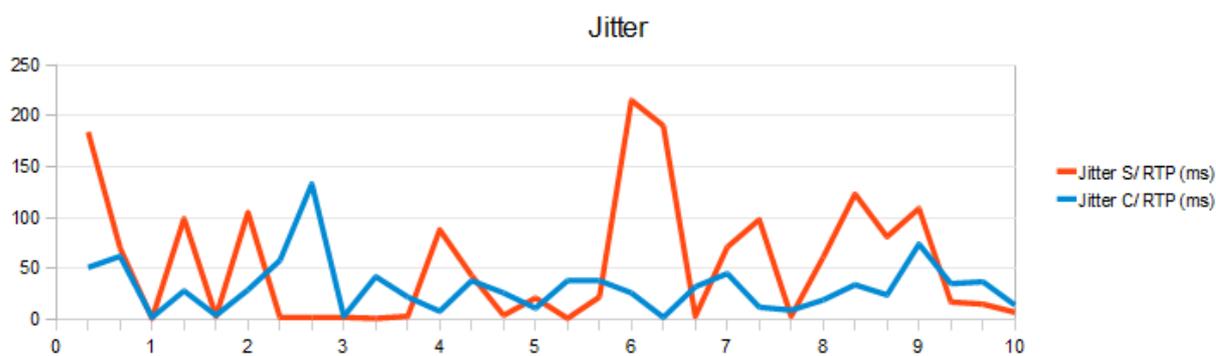


Figura 15: Gráfico representando a variação de *jitter* em função do tempo.

6.2 Teste de qualidade da voz

Existem duas formas de efetuar um teste de qualidade de voz, através testes subjetivos ou objetivos. Testes subjetivos são feitos com base na opinião de um conjunto significativo de indivíduos, de forma que cada ouvinte avalia uma amostra de áudio e lhe confere uma nota com valor de 1 (ruim) a 5 (excelente), baseado na qualidade percebida. Após a coleta dos dados, estes são tabelados e é feito o cálculo da média das avaliações, obtendo-se o chamado de *mean opinion score* (MOS). Apesar de resultarem em resultados mais precisos, testes subjetivos precisam de uma grande quantidade de ouvintes para que seu resultado seja aceitável, tornam-se um teste dispendioso de tempo e dinheiro, com as complicações de conseguir-se um ambiente adequado para sua realização.

Em vista destes problemas, testes objetivos foram criados para facilitar o processo de avaliação através de algoritmos os quais tentam medir a qualidade do áudio, onde tentam calcular o MOS do áudio após passar por VoIP ou compactação por algum *codec*, simulando a avaliação subjetiva. Apesar dessas vantagens, não foi encontrado um algoritmo eficaz para avaliar a qualidade de voz conseguida neste caso. Um dos padrões mais atuais para testes objetivos, o algoritmo PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*), não provê uma avaliação global da qualidade da transmissão. Apenas são medidos os efeitos de distorção e ruído durante a fala. Outros efeitos, relacionados com os dois sentidos de interação, como perda de volume, atraso e eco não são refletidos no resultado final do algoritmo PESQ.

A ideia inicial para os testes foi a utilização de um método objetivo, mas como já constatado, seus resultados não foram eficazes para avaliar a diferença conseguida após o desenvolvimento deste trabalho. A execução do teste baseou-se no uso de um arquivo de áudio de aproximadamente quinze segundos, reproduzindo uma fala rápida e relativamente complexa. Este áudio foi reproduzido na entrada de áudio de um computador e recebido, pelo VoIP do CMS em outro, onde foi gravado. Foi utilizada a rede 3G fornecida pela TIM e, para diminuir a largura de banda disponível para o VoIP, foi efetuado um download a uma taxa de 50 kbps, aumentando os problemas de qualidade no áudio recebido. Este procedimento foi feito com a versão antiga e atual do CMS, para comparar-se a diferença de

qualidade entre elas.

Como esperado, o uso do protocolo RTP fez uma grande diferença, aumentando muito a qualidade do áudio quando a rede utilizada tem uma baixa largura de banda. Apesar de, obviamente, também ter um *delay* considerável, o áudio conseguido com a versão atual foi inteligível, enquanto a versão anterior executou um áudio impossível de entender, com uma grande repetição de sílabas, como um “disco arranhado”. A figura 15 mostra a diferença entre os resultados conseguidos nas diferentes versões em comparação ao áudio original. Os arquivos de áudio usados na comparação abaixo estão disponíveis no seguinte endereço: <http://www.inf.ufsc.br/~nanda/cms/testes/>.

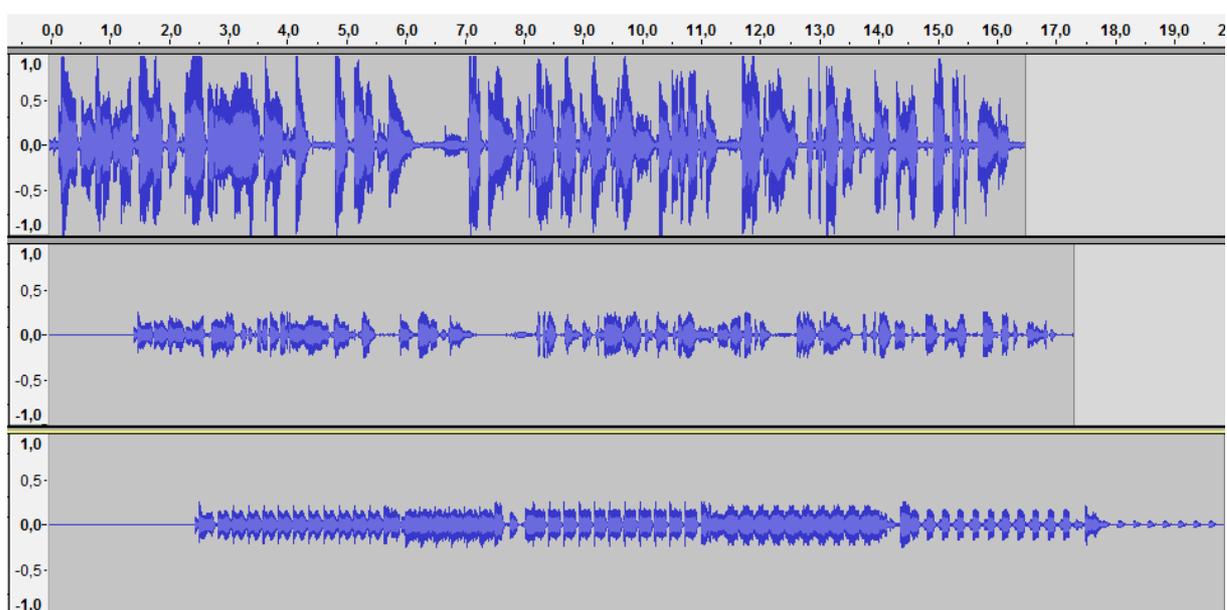


Figura 16: Comparação dos resultados obtidos no teste de qualidade do som. Original (acima), seguido do resultado obtido pela versão atual (com RTP) e por último o som obtido com a versão anterior.

7 Conclusão

Pode-se afirmar, baseando-se nos resultados obtidos nos testes, que os objetivos principais deste trabalho foram alcançados. Conseguiu-se uma diminuição de mais de 200 ms na latência e a qualidade do som foi incrementada.

Apesar da latência não ter alcançado o nível ideal, sua diminuição fez com que se tornasse aceitável. Um dos fatores que dificultou uma diminuição maior foi o uso do Direct X com o delphi, que possivelmente tem alguns problemas que só seriam resolvidos com mudanças no código fonte do Direct X.

Quanto à qualidade da voz percebida pelo usuário, foi obtida uma grande melhoria quando tem-se problemas de rede e a variação no atraso não tornará mais o som ininteligível, por evitar a troca de ordem dos pacotes. Assim, o usuário poderá ter uma melhor experiência no uso do VoIP na ferramenta colaborativa CMS, tornando o entendimento entre os usuários mais fácil.

7.1 Trabalhos futuros

Para uma maior diminuição da latência, é possível implementar a utilização de um CODEC que afim de gerar um menor volume de dados a partir do áudio em formato G.711 existente. Como exemplo de CODEC tem-se o speex, um formato de compressão de áudio livre e especialmente desenvolvido para codificar a voz em baixo *bit rate*.

Seria interessante a participação de conferências utilizando telefones IP, convencionais e *smartphones*, ou seja, sem a necessidade de usar o CMS. Para que isto seja possível o protocolo de sinalização deve ser alterado para SIP, substituindo o protocolo CycAppDCM, o qual é recomendado para o caso específico da SLV.

Além disso, poderá ser feito um *plugin* para outro programa feito no Cyclops, uma Workstation 3D. Baseando-se nos problemas e soluções aqui encontrados e no código existente será possível adicionar uma nova funcionalidade ao programa.

Referências

ABDALA, D. D.; REGERT, A. G.; WANGENHEIN, A. **Diagnóstico de Imagens médicas por computador: Cyclops Medical Station** uma idéia viável para o contexto brasileiro. IV Workshop de Informática aplicada à Saúde – CBCComp. 2004.

ABDALA, D. D.; et al. **Application Protocol for a DICOM Real Time Collaborative System**, cbms, pp.490-494, 19th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'06), 2006.

ALAWIEH, B.; AHMED, R.; MOUFTAH, H. T. **Performance Measurement for Voice Services in Heterogeneous Wired Networks**. 4th International Conference on Testbeds and research infrastructures for the development of networks & communities, 2008, Innsbruck – Austria.

AUDACITY. **Latency Test – Audacity Manual**. 2010. Acessado em 28 out. 2010. Disponível em <http://manual.audacityteam.org/index.php?title=Latency_Test>

BINOTTO, A. P. D.; et al. **T@lemed: um estudo de caso de tele-saúde baseado em imagens de ultra-som**. X Congresso Brasileiro de Informática em Saúde, 2006, Florianópolis. p. 1273-1277.

COLCHER, S.; et al. **Voip: Voz sobre IP**, Rio de Janeiro: Elsevier: 2005.

CYCAPPDCM. **Cyclops DICOM Application Protocol**. 2010. Acessado em 19 out. 2010. Disponível em: <<http://www.lapix.ufsc.br/index.php/virtual-reading-room-cyclops-dicom-application-protocol->>

DÍGITRO, *Ensinar*. **Telefonia Digital: Curso on-line**. 2003. Acessado em 18 set. 2010. Disponível em: <<http://ensinare.locaweb.com.br>>

GOMES, Eng. Alcides Tadeu. **Telecomunicações: Transmissões e Recepção AM-FM - Sistemas Pulsados**. 20. ed. São Paulo: Livros Érica Ed, 2004.

ITU-T Recommendation G.114, **General Recommendations on the Transmission Quality for an Entire International Telephone Connection**, Mai. 2003;

ITU-T Recommendation P.862, **Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ), an Objective Method for End-to-end Speech Quality Assessment of Narrow-band**

Telephone Networks and Speech Codecs, Feb. 2001.

LEGG, G. **VoIP Meets Wi-Fi: Internet Phone Calls Go Wireless**. 2005. Acessado em 15 nov. 2010. Disponível em: <<http://www.eetimes.com/design/communications-design/4017837/VoIP-Meets-Wi-Fi-Internet-Phone-Calls-Go-Wireless>>

KAOSAR, G.; SHELAMI, T. R. **Voice transmission over ad hoc network adapting optimum approaches to maximize the performance**. Butterworth-Heinemann, 2009, Newton. p. 634-639.

Lima, C. M. A. O.; et al.; **Videoconferências: sistematização e experiências em telemedicina**. Radiol Bras. 2007; 40(5): 341-344.

LINPHONE. **Open-source voip software**. 2010. Acessado em 29 jul 2010. Disponível em: <<http://www.linphone.org>>

MENDES, J. A. F. **Protocolo Cyclops de Teleconferência : uma proposta para teleconferências médicas**. Florianópolis, 2004. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

OLEINICOV, M. H. et al. **Designing and Implementing a Novel VoIP-Application for Symbian Based Devices**. The Fifth IEEE International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC'2009), pp. 251-260, Cannes/La Bocca, France, August 23-29, 2009.

PÁDUA, E. M. **Metodologia da pesquisa: abordagem teórico-prática**. 10ª ed. Campinas; São Paulo, 2004.

RIZOU, D.; SACHPAZIDIS, I.; SELBY, P. **Broadband health care network in Brazil and Peru**. Euro American Conference on Telematics and Information Systems, 2008, Aracajú.

ROSSET, A; SPADOLA, L; RATIB O. **OsiriX: an open-source software for navigating in multidimensional DICOM images**. J. Digit Imaging. 2004 Sep; 17(3):205-16.

ROSSET, C; ROSSET, A; RATIB O. **General consumer communication tools for improved image management and communication in medicine**. J. Digit Imaging. 2005 Dec;18(4):270-9.

SACHPAZIDIS, I.; et al. **Enhanced Medical Services in Amazon over AmerHis**

Satellite. European Symposium on Biomedical Engineering, 2006, Patras. ESBME 2006, 2006. p. 4-4.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodología de la investigación.** México: McGraw-Hill, 1991.

SCHULZRINNE, H.; et al. "**RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications**", RFC 1889, January 1996.

SOLANO, A.; et al. **MedNET: Telemedicine over AmerHis system.** International Workshop on Satellite and Space Communications, 2009, Tres Cantos, Spain. p. 35-39.

STAMFORD P.; et al. **Um Sistema de Telediagnóstico para a Rede Recife ATM.** Anais do VII Congresso Brasileiro de Informática em Saúde e II Simpósio de Sistemas de Informação Hospitalar, outubro de 2000, São Paulo - SP.