

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E ESTATÍSTICA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

**IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE DE VOZ SOBRE IP,
APLICANDO PROPRIEDADES DE QUALIDADE DE SERVIÇO NA REDE E NA
INTERFACE COM O USUARIO.**

IVAN LUIZ SALVADORI

FLORIANÓPOLIS, SETEMBRO DE 2008

IVAN LUIZ SALVADORI

**IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE DE VOZ SOBRE IP,
APLICANDO PROPRIEDADES DE QUALIDADE DE SERVIÇO NA REDE E NA
INTERFACE COM O USUÁRIO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Informática e Estatística da
Universidade Federal de Santa Catarina para a
obtenção do título de Bacharel em Ciências da
Computação, orientado pelo Professor Dr.
Carlos Becker Westphall.

FLORIANÓPOLIS, SETEMBRO DE 2008

IVAN LUIZ SALVADORI

**IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE DE VOZ SOBRE IP,
APLICANDO PROPRIEDADES DE QUALIDADE DE SERVIÇO NA REDE E NA
INTERFACE COM O USUÁRIO.**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos B. Westphall, Dr.
Orientador

Kleber Magno Maciel Vieira

Prof. Mário A. R. Dantas, Dr.

FLORIANÓPOLIS, NOVEMBRO DE 2008

Agradecimentos

Primeiramente devo agradecer ao orientador Professor Dr. Carlos Westphall, pela paciência e dedicação destinados a esse Projeto.

Ao grande amigo Eduardo Hartmman pelo auxílio em várias partes do projeto, e na ajuda na estruturação do trabalho.

Leonardo Defenti, Amigo de longa estrada, pela colaboração no desenvolvimento de laboratórios de teste.

Índice

1	Introdução	10
1.1	Proposta	11
1.2	Objetivos	12
1.2.1	Objetivos específicos	12
1.3	Delimitações do Escopo	12
1.4	Estrutura do Trabalho	13
2	VOIP	14
2.1	Protocolos	15
2.1.1	Protocolo SIP	15
2.1.2	Protocolo IAX	17
2.2	Codecs	21
2.2.1	G711	22
2.2.2	G729	22
2.2.3	GSM	22
2.2.4	iLBC	23
2.3	Equipamentos Específicos	23
2.4	Observações sobre o Capítulo	26
3	Asterisk	27
3.1	Arquitetura	27
3.2	Plano de Discagem	28
3.3	Canais	29
3.4	Observações sobre o Capítulo	30
4	Qualidade de serviço	31
5	Projeto	32
5.1	Cenário	32
5.1.1	Visão Geral	33
5.1.2	Unidade 1	34
5.1.3	Unidade 2	34
5.1.4	Unidade 3	35
5.1.5	Unidade 4	36
5.1.6	Disposição Geográfica	36
5.2	Configuração dos Servidores	38
5.3	Interligando Servidores	43
5.3.1	Configuração dos Troncos	45
5.4	Ligação com a Rede Pública de Telefonia	47
5.5	Implementação de Qualidade de Serviço	47
5.5.1	QoS na Rede IP	48
5.5.1.1	Marcação de pacotes	48
5.5.1.2	Jitter Buffer	49
5.5.1.3	Generic Traffic Shaping	49
5.5.2	QoS na Interface com o Usuário	50
5.5.2.1	Telefones IP	51
5.5.2.2	Soft-Phones	51
5.5.2.3	Perfil de Usuário	53
5.6	Observações sobre o Capítulo	54
6	Trabalhos futuros	55
7	Conclusão	56
8	Referencias Bibliográficas	58

Lista de Figuras

Figura 1 - Negociação de uma chamada SIP.	16
Figura 2 - Caminho da sinalização e fluxo de mídia em SIP.	17
Figura 3 - Formato do IAX2 Full Frame.	18
Figura 4 - Sinalização e caminho da mídia no IAX2.	20
Figura 5 - Placa FXO TDM400 Digium.	24
Figura 6 - Telefone IP.	25
Figura 7 – Soft-Phone.	25
Figura 8 – ATA.	25
Figura 9 - Visão Geral do Projeto.	33
Figura 10 - Estrutura Física da Unidade 1.	34
Figura 11 - Estrutura Física da Unidade 2.	35
Figura 12 - Estrutura Física da Unidade 3.	35
Figura 13 - Estrutura Física da Unidade 4.	36
Figura 14 - Disposição Geográfica das Unidades.	37
Figura 15 - Conexão entre os Servidores Asterisk.	44
Figura 16 - Custo de tradução de codecs.	46
Figura 17 - Headset.	52
Figura 18 - Telefone USB.	52

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Consumo de banda e processamento de codec.	23
Tabela 2 - Configuração de Hardware dos Servidores.	33
Tabela 3- Consumo de Banda IAX2 em Link PPP.	43
Tabela 4 - Consumo de Banda IAX2 (Trunked) em Link PPP.	44

Lista de Quadros

Quadro 1 - Exemplo de Extensões.	29
Quadro 2 - Uso da Prioridade n nas extensões.	29
Quadro 3 - Canais do Servidor 1.	38
Quadro 4 - Canais do Servidor 2.	39
Quadro 5 - Canais do Servidor 3.	40
Quadro 6 - Canais do Servidor 4.	41
Quadro 7 - Plano de Discagem do servidor 1.	42
Quadro 8 - Plano de Discagem do servidor 2.	42
Quadro 9 - Plano de Discagem do servidor 3.	42
Quadro 10 - Plano de Discagem do servidor 4.	43
Quadro 11 - Configuração do Canal para o Tronco IAX2.	45
Quadro 12 - Comandos de Registro Manual dos Trocos IAX2.	46
Quadro 13 - Configuração do Plano de Discagem entre Servidores.	46
Quadro 14 - Configuração TDM400 zaptel.conf.	47
Quadro 15 - Configuração TDM400 zapata.conf.	47

Resumo

A internet provocou uma grande explosão de possibilidades e funcionalidades, que a cada dia vai atingindo mais pessoas, interligando de diferentes formas as pessoas, reduzindo a distancia entre elas. A tendencia observada é a convergência, onde vários dispositivos estão sendo agrupados e suas funcionalidades estão sendo aglomeradas em um único dispositivo. Temos hoje telefones celulares que possuem câmara fotográfica, filmadora, e internet. A telefonia esta passando por esse processo de convergência, uma vez que a comunicação telefone esta sendo vista como mais uma aplicação a ser executada nos computadores, utilizando as estruturas de rede e a internet. Este trabalho demonstra a implementação de uma rede de Voz sobre IP, seus equipamentos e dispositivos específicos, em um ambiente de produção. A rede implementada possui uma grande área de abrangência, possuindo elementos na região Sul e Centro Oeste, atingindo os estados de Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Preocupa-se com questões de Qualidade de Serviço de duas formas distintas, uma sendo a abordagem tradicional, priorizando e diferenciando o trafego de aplicações na rede, e outra forma analisada relaciona-se a QoS no nível dos usuários, fazendo um estudo doas parâmetros relacionados a interface que os usuários fazem com a rede VOIP.

PALAVRAS-CHAVE: VOIP, IAX2, QoS.

1 Introdução

Os homens sempre criam novas necessidades, e com o passar dos tempos, elas vão tomando rumos cada vez mais diversos e complexos. Essa evolução se apresenta em todas as áreas de conhecimento humano, e em todas elas esta presente uma das grandes necessidades do seres humanos, se comunicar.

A comunicação é umas das coisas mais importantes para nós, é através dela que trocamos informações, é o meio mais fácil de se aprender e ensinar, é absolutamente essencial para a evolução do ser.

Em pouco tempo as batidas de tambores e os sinais de fumaça se tornariam impulsos elétricos atravessando toda a extensão da Terra, passando e criando novas mais modernas tecnologias, passamos pelo telegrafo, radio, e a telefonia, onde foi evoluindo até o estado da internet, onde estamos agora.

Com o advento da internet, foi possível uma interação maior e muito mais rápida entre as pessoas, proporcionando uma variada gama soluções para os problemas de comunicação. E Com a popularização da tecnologia, aliado com as melhorias de velocidade das conexões, tornaram possíveis novas aplicações, abrangendo um alcance global e de baixo custo.

Uma tendencia que esta sendo observada é a convergência da telefonia convencional com as redes de computadores e também com a utilização da internet, surge ai o VOIP, que significa “voz sobre IP”. Essa convergência mostra aspectos muito vantajosos. Um dos casos analisados é que elimina a necessidade de um circuitos dedicado, utilizando a tecnologia de comutação de pacotes para a aplicação de voz, utilizando a própria internet como meio de transporte. A economia e redução dos custos de ligações é evidente.

Em redes que não oferecem garantia de qualidade de serviço, como é o caso da Internet, o VOIP sofre uma série de problemas comuns às transmissões em tempo real sobre um protocolo não confiável como atrasos variáveis e perda de pacotes (Comer, 2000).

Além da questão que qualidade, está a utilização de protocolos de sinalização, dos quais podemos exemplificar o SIP, que é o Protocolo de Iniciação de Sessão, e o H.323. Protocolos para realização do fluxo da voz na rede também são utilizados no VOIP. É o caso do RTP (Real-time Transport Protocol). Outro protocolo muito importante no cenário VOIP é o IAX (Inter Asterisk eXchange), tem o objetivo de estabelecer a

comunicação entre servidores Asterisk. O IAX é um protocolo de transporte assim como o SIP, mas com a diferença de utilizar apenas uma porta, tanto para a sinalização, mas também para o fluxo de dados, eliminando o uso do RTP.

O fator de segurança é muito importante. Requisitos como confidencialidade, que garante que a informação seja disponível apenas para os usuários permitidos, integridade da informação e a sua disponibilidade, ou seja, sempre que solicitada a informação, ela deve estar sempre disponível.

Utilizar o VOIP agrega muitas vantagens quanto a economia de ligações, mas para que seja viável o investimento em telefonia IP, é imprescindível que haja uma qualidade no serviço, para que sejam atendido os mínimos requisitos e expectativas dos usuários.

Vê-se que o universo de telefonia IP implica em se tratar problemas de duas tecnologias que se fundem formando novos desafios. Este novo cenário dá a possibilidade de encontrar soluções para minimizar o esforço final, potencializando de forma expressiva esta tecnologia. (VETTER, 2008, p.18).

1.1 Proposta

Com o crescente aumento da utilização de VOIP pelas empresas e usuários domésticos, torna-se necessário a melhoria do nível de qualidade de serviço, pois é o fator que irá decidir se é viável ou não os investimentos na área. Os usuários esperam nada menos que a qualidade já alcançada pela telefonia convencional, com as vantagens econômicas proporcionadas pela estrutura de Voz sobre IP.

A proposta desse trabalho é a implementação de uma rede de Voz sobre IP, demonstrando os processos envolvidos em sua construção, estudar ferramentas e mecanismos capazes de agregar qualidade de serviço nas aplicações de Voz sobre IP, utilizando o IAX, na sua versão 2, como protocolo de sinalização e fluxo de mídia. O IAX foi escolhido por ter uma vantagem em tratar os problemas de NAT, pois estamos nos referindo a um ambiente de rede que utiliza a internet como meio.

Outra observação, nas questões de projeto, visa a escolha correta dos codecs de áudio e dispositivos, como soft-phones e aparelhos de telefones IP, elances de dados apropriados, definição do perfil dos usuários, suas necessidades, capacidades e exigências, formam uma variável no que diz respeito a qualidade de serviço, ou seja, não é apenas nas camadas de rede que se aplica a qualidade, mas em todos os aspectos de sua estrutura.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo implementar uma rede VOIP, que utiliza a internet como meio de interconexão de suas unidades, analisar questões que envolvem a qualidade de serviço em uma estrutura de Voz sobre IP, utilizando a plataforma Asterisk e o protocolo IAX2, juntamente com mecanismos que propõem a priorização das aplicações de tempo real, que é o caso do VOIP. Estudar suas funcionalidades e limitações, ponderando seus benefícios, bem como analisar questões de projeto que causam impacto na visão de qualidade observada pelos usuários.

Espera-se com esse trabalho, contribuir para construção e desenvolvimento de redes de voz sobre IP mais estáveis e confiáveis, tornando cada vez mais viável a implantação dessa tecnologia no cotidiano das pessoas,.

1.2.1 Objetivos Específicos

1. Implementação de uma rede de Voz sobre IP.
2. Levantamento dos requisitos de QoS.
3. Estudo do protocolo IAX2.
4. Estudo de ferramentas capazes de prover qualidade de serviço em uma estrutura de Voz sobre IP.
5. Análise de parâmetros da interface com o usuário que interferem na qualidade de serviço.

1.3 Delimitações do Escopo

O trabalho limita-se a realizar uma análise das ferramentas utilizadas pela comunidade de código aberto, nas aplicações de VOIP e de tempo real, implementar um ambiente com Asterisk utilizando o protocolo IAX2, para obtenção de resultados da utilização dessas ferramentas.

Implementar o laboratório considerando questões impactantes na qualidade de serviço, fazendo um estudo dos codecs, calculo da banda dos links necessários, definição do perfil de cada usuário, mapeando suas reais exigências e necessidades.

1.4 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 mostra conceitos introdutórios, juntamente com a proposta do trabalho, os objetivos e objetivos específicos. Faz também a delimitação do escopo, delimitando o tema abordado. O Capítulo 2 traz conceitos de Voz Sobre IP, juntamente com os protocolos, codecs e equipamentos específicos envolvidos em seu funcionamento. O Capítulo 3 apresenta o servidor voip escolhido para o projeto, o Asterisk, mostrando as partes que o compõem, sua arquitetura. Os conceitos de Qualidade de Serviço são analisados no Capítulo 4. O Projeto é apresentado no Capítulo 5, contendo a Visão Geral do Projeto, o cenário, as configurações dos servidores e equipamentos. Os trabalhos futuros são apresentados no Capítulo 6. Fechando o trabalho, o Capítulo 7 traz as conclusões.

2 VOIP

A telefonia convencional está convergindo para as redes de computadores. Aplicações de voz utilizando a estrutura das redes existentes é o que chamamos de VOIP. As redes de computadores utiliza o IP como base. Daí o nome de Voz sobre IP.

Essa tecnologia esta sendo cada dia mais usada, especialmente pelas médias e grandes empresas, que vêem nela uma ótima forma de economia em suas ligações. Estudos apontam a procura por VOIP atingindo proporções exponenciais de crescimento.

Existe pelo menos duas razões para se usar VOIP, o baixo custo e incorporação de funcionalidades. O custo de ligações utilizando Voz sobre IP custa muito menos que o serviço tradicional de telefonia. VOIP torna fácil algumas funções que são difíceis ou até mesmo impensáveis de se implementar na rede tradicional. É o caso de se conectar a sua rede VOIP de qualquer lugar do mundo, utilizando a internet, ou seja, não importa onde você esteja, estará sempre conectado, podendo receber e realizar ligações.

Existe uma certa transparência na sua utilização, já que é possível usar aparelhos telefônicos idênticos aos tradicionais, mas que são dispositivos de rede. E a todo instante surgem novidades no mercado, com novos modelos, com novas funcionalidades, até mesmo aparelhos sem fio, muito próximos a aparelhos celulares, que se conectam a redes sem fio dos estabelecimentos e se conectam a servidores VOIP.

Voz sobre IP, é uma tecnologia que permite que a voz seja codificada , digitalizada e transmitida através de pacotes nas redes de computador, sendo tratado da mesma forma que o tráfego de dados. O problema é que a voz é sensível ao atraso. Quando se trata em utilizar a internet esse problema se agrava, pois o IP é a pilha de protocolos padrão, e não garante padrões de qualidade de serviço.

Voz sobre IP é um conceito relativamente simples: transformar voz em mais uma aplicação dentro de uma rede de dados que utilize IP como protocolo de nível de rede. Aliás, esta simplicidade é que permite transmitir dados e voz dentro de uma mesma rede, completamente anárquica e dispersa, a custos relativamente baixos.

A grande diferença entre as aplicações de dados, excluindo-se multimídia, e as de voz, é a incapacidade de uma rede de oferecer atraso constante a uma aplicação de voz on-line, como é uma ligação telefônica, que causa retardo indesejáveis para os usuários. Na prática, esta limitação introduz voz entrecortada e muitas vezes ininteligível. A capacidade de uma rede em oferecer atrasos constantes é chamado de QoS.(Sousa, 2001, p.17).

Alguns estudos apontam que o TCP/IP apresenta inúmeras desvantagens em aplicações de tempo real e de multimídia. Possui a característica de menor esforço, sendo insuficiente para que essas aplicações sejam sempre executadas da forma esperada.

Outro fator é que não leva em consideração a prioridade que esses dados tem em relação aos demais. Avanços em pesquisas de alternativas estão sendo desenvolvidos. É o exemplo dos protocolos leves e redes chamadas de nova geração, que são mais aptados a essas aplicações.

Alguns desses protocolos leves abordam o caso da retransmissão seletiva, fator que causa grande impacto no desempenho do TCP/IP, quando um certo segmento da informação precisa ser retransmitido, todo um grupo de informação também será, ou seja, dependendo do tamanho da janela, ela toda sera retransmitida, e com a retransmissão seletiva isso não acontece, melhorando significativamente o desempenho das aplicações de tempo real.

A qualidade da comunicação VOIP está totalmente ligada com a performance e qualidade da rede de computador a qual está apoiada. Investimentos em tecnologia de redes são necessários para que a expectativas dos usuários sejam atendidas.

Tendências apontam para o crescimento das redes de Voz sobre IP, pouco a pouco as limitações irão ser ultrapassadas, novas tecnologias desenvolvidas, novas funcionalidades incorporadas, trazendo mais vantagens em sua utilização.

2.1 Protocolos

Protocolos são o conjunto de regras entre as partes comunicantes, que irão formar a maneira que procederá a comunicação.

2.1.1 Protocolo SIP

Significa em inglês Session Initiation Protocol (Protocolo de Inicialização de Sessão). Desenvolvido pelo IETF (Internet Engineering Task Force), é um protocolo de sinalização, simples e escalável, atuando na camada de aplicação do modelo de referência OSI. É responsável por estabelecer, manter e finalizar uma sessão. Atualmente é o protocolo mais utilizado nas estruturas de VOIP, pois é um trabalho de um grupo muito importante e sério, e por isso o mais difundido.

É um protocolo baseado em texto, com a codificação UTF-8, muito parecido com o HTTP. Usa as portas 5060 tanto para TCP quanto para o UDP.

Enfrenta vários problemas em relação a NAT e a Firewall.

Segundo (ZHANG, 2002), pode ser associado ao TCP, mas por questões de desempenho é preferível o UDP, já que apresenta melhores condições para aplicações multimídia,

Pode-se citar características do UDP de não tratamento de perdas e conseqüentemente evitando a retransmissão das informações perdidas, pois é mais apropriado perder alguns pacotes, contendo a voz, e seguir em frente com a ligação, que toda correção e retransmissão dos pacotes eventualmente perdidos ou danificados, causando efeitos negativos como cortes na recepção da voz, as vezes inteligível.

A Figura 1 demonstra como a sinalização é efetuada, assim como o caminho da mídia, em uma conexão utilizando o protocolo SIP.

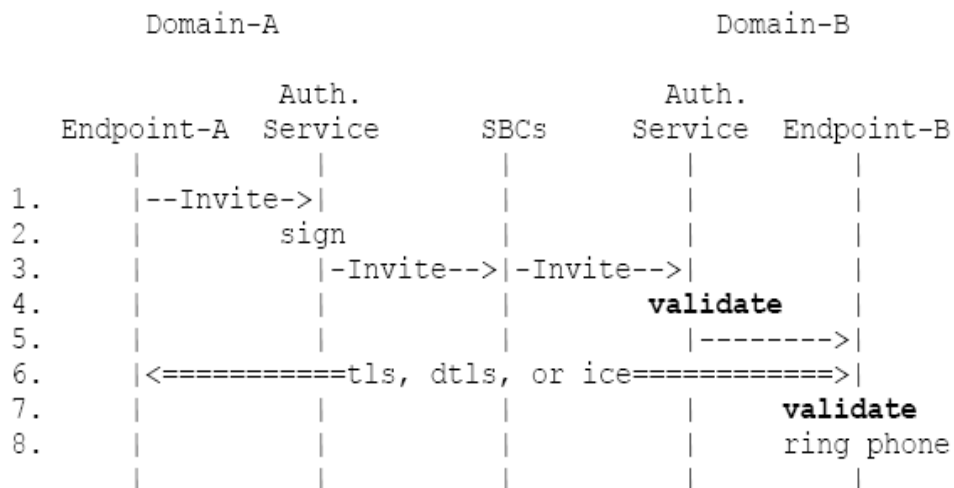


Figura 1. Negociação de uma chamada SIP.

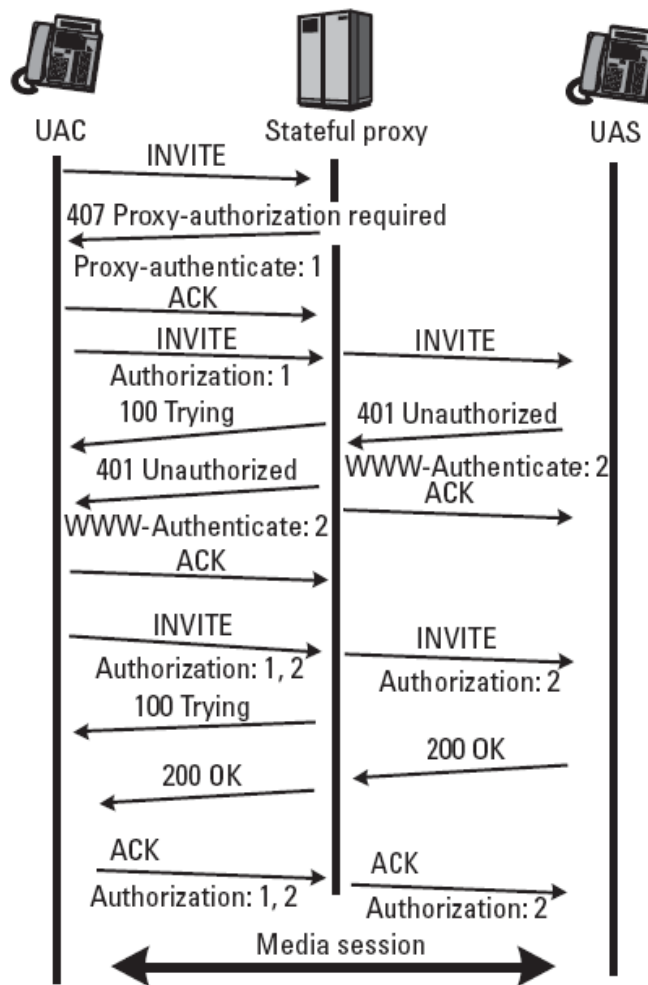


Figura 2. Caminho da sinalização e fluxo de mídia em SIP.

2.1.2 Protocolo IAX

É uma alternativa ao SIP e ao H.323, Foi desenvolvido pela Digium, e atualmente encontra-se na versão 2, significa (**I**nter **A**sterisk **e**Xchange). Muito utilizado para links trunking (links responsáveis pela interconexão dos servidores) entre servidores VOIP Asterisk, e conexão a dispositivos que suportam o protocolo IAX. É um protocolo peer-to-peer, desenvolvido para transportar chamadas multimídias usando o IP.

O IAX2 usa apenas uma porta, a UDP 4569, onde faz o controle da sinalização e do fluxo de dados. Eliminando a necessidade de outro protocolo para o tráfego da mídia. Por utilizar apenas uma porta, facilita enormemente seu funcionamento em ambientes com firewalls e NAT, além de apresentar nativamente jitter buffer, contribuindo na qualidade do áudio, sendo essa uma das diferenças entre o SIP.

Quando Utilizado em links trunking, utiliza apenas a largura da banda que esta realmente sendo usada, enquanto que os demais protocolos necessitam de uma certa largura de banda fixa para manter os canais em funcionamento. Permite também que múltiplos fluxos de voz compartilhe um único canal trunking, diminuindo o overhead intrínseco na arquitetura IP. Maiores detalhes sobre trunking IAX2 será demonstrado no laboratório de teste.

Os pacotes se apresentam em formato binário, diminuindo assim o consumo de banda da rede. Possui 3 tipos diferente de frames, sendo o frame a unidade de comunicação do protocolo IAX2.

- **Full Frame:** o frame é enviado da forma mais confiável possível, sendo necessário que a outra ponta envie a confirmação de recebimento do frame, através de um ACK. Pode ser usado pra sinalização ou mesmo para o tráfego de mídia, não sendo recomendado devido ao fato da necessidade da confirmação e devido ao cabeçalho do frame ser muito grande, aumentando o overhead.
- **Mini Frame:** com esse formato de frame, não existe a confirmação de recebimento do quadro. Pode ser usado para sinalização ou tráfego da mídia. Frame com pequeno cabeçalho.
- **Meta Frame:** apresenta um cabeçalho especializado para transmissão de vídeos, tem uma outra propriedade que é a de agrupar vários fluxos de mídia através de um único cabeçalho, reduzindo assim o uso de banda da rede.

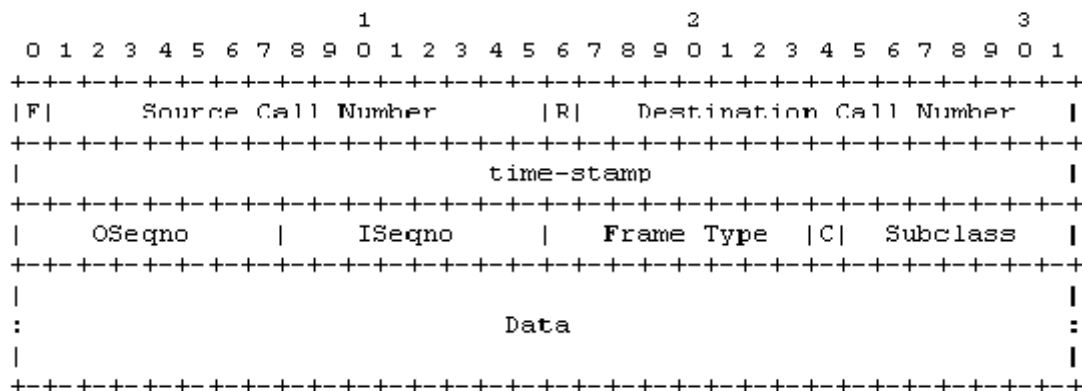


Figura 3. Formato do IAX2 Full Frame.

O protocolo IAX2 especifica 10 tipos de frames possíveis para o campo Frame Type em um Frame Full. Segue abaixo a lista dos tipos de frames.

- **DTMF Frame:** Contem o digito que determina o DTMF.
- **Voice Frame:** Contem a informação de vós.
- **Video Frame:** Contem a informação de vídeo.
- **Control Frame:** Contem a informação de controle de sessão do dispositivo final conectado via IAX2.
- **Null Frame:** Contem a valor nulo, não são transmitidos.
- **IAX2 Frame:** Carrega a informação de controle de gerenciamento dos dispositivos finais.
- **Text Frame:** Contem mensagens de texto.
- **Image Frame:** Carregam informações sobre imagens.
- **HTML Frame:** Carregam informações HTML.
- **Comfort Noise Frame:** Quadros para sensação de conforto.

O IAX2 possui algumas mensagens básicas, que efetuam as suas funcionalidades. Abaixo estão listados as principais.

- **New:** Efetua nova chamada.
- **Ping:** Faz um ping.
- **Pong:** Resposta da solicitação ping.
- **Accept:** Aceita um pedido de conexão.
- **Reject:** Rejeita um pedido de conexão

- **Answer:** Enviada para o originador da chamada, aceitando a chamada.
- **Ring:** Mensagem enviada para o originador da chamada, servindo como mecanismo de alerta da ligação.
- **AuthReq:** Pedido de autenticação.
- **AuthRep:** Resposta de autenticação.
- **Ack:** Confirmação de uma requisição.
- **HangUp:** Finalizar uma chamada.

O Processo de conexão do IAX é muito simples. Abaixo listamos os passos realizados para que uma conexão IAX2 aconteça.

1. Dispositivo 1 envia um New para a Dispositivo 2.
2. Caso aceite a ligação, o Dispositivo 2 envia um Accept.
3. Dispositivo 1 envia um Ack como resposta ao Accept.
4. Dispositivo 2 recebe Ack t envia Ring
5. Dispositivo 2 envia Answer.
6. Dispositivo 1 responde Ack para Ring.
7. Dispositivo 1 responde Ack para Answer.
8. Estabelecido canal de comunicação.

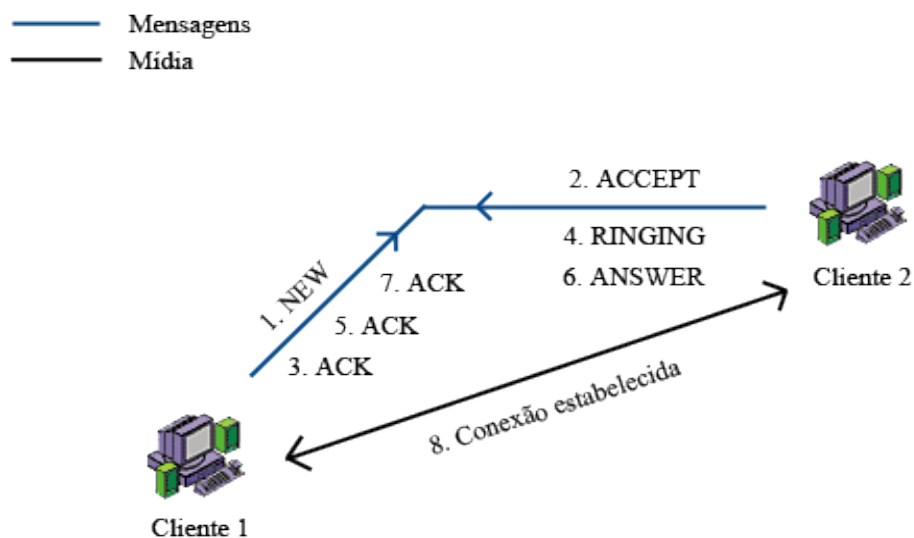


Figura 4. Sinalização e caminho da mídia no IAX2.

2.2 Codecs

Codec significa codificador/decodificar, responsável por transformar um sinal analógico em digital. Funciona em pares, sendo um no transmissor, que codifica o sinal analógico em digital, e outro codec no receptor que decodifica o sinal digital em analógico.

Os codecs fazem a codificação utilizando o processo de amostragem do sinal de áudio. Se diferenciam basicamente quanto a taxa de amostragem. Existe dois tipos de codecs, os sem perda e os com perda.

- **Codes sem perda:** codificam o som sem alterar a qualidade original, uma vez que decodificada a informação, ela será idêntica ao original.
- **Codecs com perda:** modificam as características originais, alterando a qualidade do som, com o objetivo de aplicar certa compressão nos dados.

Em VOIP, os codecs são utilizados para codificar e decodificar a voz dos usuários, para que ela seja transmitida através das redes IP. O uso dos codecs é relacionado a banda disponível para o serviço, uma vez que a banda nas redes IP é limitada, codecs que utilizam a compressão da voz é altamente recomendada. Cada codec proporciona um certo nível de qualidade de voz, por isso é muito importante saber escolher um adequado para uma determinada ocasião. É muito freqüente observar codecs que utilizam a supressão de silêncio, que é a não digitalização dos dados quando se reconhece que o silêncio foi estabelecido, diminuindo assim o número de pacotes a serem transmitidos.

Uma medida utilizada para mediar a qualidade que o codec proporciona é conhecido como MOS, (Mean Opinion Score), sendo aplicado índices de 1 a 5 para julgar a qualidade do som em questão.

Existe uma relação entre banda, tempo de transmissão e quantidade de dados enviados por quadro. Essa quantidade se denomina payload. Quanto maior for o payload, maior será o tempo necessário para a transmissão do quadro, aumentando assim o delay, mas reduzirá o uso de banda da rede.

2.2.1 Codec G711

É um compreensor de áudio, desenvolvido pela ITU-T, utilizado principalmente pela telefonia. Foi desenvolvido na década de 70 pelos laboratórios Bell, mas somente em 1988 foi formalmente padronizado.

É representado pelo PCM, (pulse code modulation), para sinais de frequência de voz, utilizando 8000 amostras/segundo, consumindo 64kbits.

Existem duas implementações para o codec G711, o U-Law e o A-Law. Sendo o primeiro mais utilizado na América do Norte e Japão, e outro na Europa e América do Sul.

O uso do codec G711 no VOIP proporciona a melhor qualidade de voz possível, uma vez que não utiliza nenhum mecanismo de compressão. Devido a esse motivo, cauda menos latência na transmissão, uma vez que diminui o custo de processamento necessário para de decodificação.

2.2.2 Codec G729

É um algoritmos de compreensão de áudio mais utilizado em VOIP, por ser o codec que menos utiliza banda, muito utilizado para chamadas em links WAN, necessitando aproximadamente de 8kbps, entretanto, o recurso computacional necessário é significativamente maior.

A Sua utilização implica no pagamento de licença para Sipro Lab Telecom ou VoiceAge, pois é um codec proprietário. Geralmente comercializado por canal, ou seja, cada dispositivo que seja se comunicar utilizando o codec G729 para uma licença.

Atualmente, observa-se que os fabricantes de dispositivos para VOIP, como telefones IP, soft-phones, dentre outros, estão disponibilizando o uso desse codec em seus equipamentos.

2.2.3 Codec GSM

Significa Global System for Mobile communications, é o padrao mais popular de telefonia celular. Utiliza o mecanismo denominado Regular Pulse Excited -- Linear Predictive Coder (RPE--LPC) estendido Long Term Predictor, onde busca dados estatísticos de uma amostragem anterior para prever características das amostras futuras,

pois essas amostras tendem a seguir o mesmo padrão, não sofrendo drásticas modificações em um curto período de tempo.

O codec GSM utiliza uma taxa de amostragem de 1 a cada 20 milissegundos, sendo codificado em cada uma 260 bits, proporcionando uma taxa total de 13kbps, proporcionando uma ótima qualidade de som com um baixo consumo de banda.

2.2.4 Codec iLBC

Internet Low Bit Rate Codec, foi desenvolvido pela Global IP Sound. É de uso aberto, gratuito, e muito utilizado em aplicativos VOIP. Possui a complexidade computacional equivalente ao codec G729. Muito bem adaptado a perdas de pacotes, sendo muito utilizado em redes de baixa qualidade e com grandes atrasos.

A Tabela 1 faz a relação Consumo de banda, taxa de amostragem e processamento de cada codec citado.

Tabela 1. Consumo de banda e processamento de codec.

Codec	Banda	Intervalo por quadro	Uso CPU
G711	64 Kbps	20 ms	baixo
G729	8 Kbps	10 ms	alto
GSM	13 Kbps	20 ms	alto
iLBC	15Kbps /13Kbps	20 ms / 30 ms	alto

2.3 Equipamentos Específicos

Para construir uma rede VOIP é necessário que haja uma certa infra-estrutura, capaz de fornecer um serviço de comunicação de Voz sobre IP. Como é de se esperar, a qualidade obtida é diretamente proporcional ao investimento em tais dispositivos específicos. Procuramos aqui definir um termo ótimo entre investimento e qualidade.

Podemos separar os equipamentos em dois grupos. Equipamentos de serviço, que ficam do lado do servidor, que irá prover os recursos para a rede, e equipamentos de usuários, no qual serão manipulados diretamente pelos próprios clientes. Os equipamentos dos usuários são a interface de uma rede VOIP. É o principal parâmetro que o cliente tem de avaliação do serviço, sua única visão do projeto.

O principal equipamento de serviço é o PABX, do inglês Private Automatic Branch eXchange. É uma central telefônica responsável pela distribuição de chamadas. Estão disponíveis vários tipos de PABX, algumas sendo de plataforma proprietária, com recursos diferenciados, pré-definido pelos fabricantes, e soluções abertas, o Asterisk é um exemplo.

Ao optar por uma plataforma proprietária, geralmente o fornecedor faz a instalação do equipamento, faz sua configuração sob medida, oferece garantia e suporte técnico, e cobra pela assistência técnica, embora exista empresas especializadas em serviços e produtos para a plataforma livre, possibilitando mais flexibilidade e liberdade de opção na escolha do PABX.

Os servidores VOIP ou PABX possuem diferentes configurações, dependendo das necessidades dos usuários. Para interligar a rede VOIP a rede convencional de telefonia, é necessário que placas específicas sejam instaladas. O Asterisk é compatível com uma vasta gama de placas. O servidor pode se conectar a rede de telefonia analógica através de placas FXO, representadas pela Figura 5, ou a rede de Digital, através de placas com interface ISDN. Esse hardware apresenta barramento PCI.

Os equipamentos de usuário são os telefones IP, soft-phones e ATAs. Telefones IP tem a aparência de um telefone convencional, mas é um dispositivo de rede que se conecta a um servidor VOIP ou PABX. Soft-phones são softwares capazes de se conectar a servidores VOIP e estabelecer chamadas telefônicas através do próprio computador. Utilizam microfone e fones de ouvido. Muitos são de uso gratuito, proporcionando economia na implantação da rede. Os ATAs são equipamentos adaptadores, onde um telefone convencional se liga a uma rede VOIP.



Figura 5. Placa FXO TDM400 Digium.



Figura 6. Telefone IP.



Figura 7. Soft-Phone.



Figura 8. ATA.

2.4 Observações sobre o Capítulo

Este capítulo procurou explicar o que significa a tecnologia VOIP, demonstrando seus conceitos e utilizações. Citou que a convergência da telefonia convencional com as redes de computadores é um processo natural e crescente. Analisou as características das redes IP, que influenciam na performance das aplicações de Voz sobre IP.

Mostrou que a Aplicação de Voz sobre IP utiliza protocolos, que estabelecem a forma com que ocorrerá a comunicação. Os principais protocolos são SIP e IAX2. O segundo sendo abordado de forma mais detalhada, uma vez que é o protocolo utilizado na implementação do projeto.

Apresentou os principais codecs, que são utilizados para digitalizar a voz, para que assim seja possível sua transmissão nas rede de computadores. Mostrou as características de cada codec, e apresentou a relação de consumo de banda, intervalo entre os quadros, e o recurso computacional necessário para a decodificação de cada um.

Exemplificou os equipamentos específicos para a tecnologia VOIP, como telefones IP, placas de Interface com a rede convencional de telefonia, ATAs, que são adaptadores para telefones convencionas utilizarem a estrutura de uma rede de voz, e um software utilizado para comunicação, uma alternativa econômica para o telefone IP.

3 Asterisk

O Asterisk é um software de código livre, que implementa as funcionalidades de um PBX. Desenvolvido para ser utilizado em plataforma Linux, baseado nas redes IP, além de integrar padrões de telefonia com baixo custo de implementação. Foi inicialmente idealizado pela empresa Digium. É considerado por alguns, o mais poderoso, flexível e escalável software de telecomunicações disponível.

Reuni uma variada gama de funcionalidades em um único pacote de software. No escopo do Asterisk, tais funcionalidades são chamadas de aplicações. Dentre as aplicações disponíveis, citamos as seguintes:

- Salas de conferencia
- Filas de atendimento
- Correio de voz
- Unidade de resposta audível

3.1 Arquitetura

Apresenta uma arquitetura muito simples, porém muito diferenciada de outros produtos concorrentes. Proporciona que tecnologias heterogêneas utilizem um mesmo ambiente de comunicação. Sua arquitetura pode ser dividida em 4 principais partes: Aplicações, Canais, Codecs e Protocolos.

Aplicações são as denominações das funções do software PBX Asterisk. Estão disponíveis muitas aplicações. Um exemplo pratico é quando ocorre uma chamada, a aplicação Dial é executada, quando a chamada precisa ser finalizada, a aplicação HungUp é utilizada. Existem outras aplicações, tais como voicemail, transferência de chamadas, dentre outras.

Canais são conexões no Asterisk, podem ser chamadas no nível de ramal, uma chamada que utiliza a PSTN, uma conexão trunking ou mesmo uma conexão a um ramal remoto utilizando a internet. O Asterisk não faz distinção de origem ou destino ou mesmo o tipo do dispositivo realizador da conexão, tudo sendo tratado como canal.

Codecs são os mecanismos utilizados para a codificação da voz, ou seja, a maneira que o som, analógico por sua natureza, irá ser digitalizado e representado na

forma digital. O uso dos codecs reflete grande impacto na qualidade das ligações, pois o codec atua na compressão dos dados, conseqüentemente influencia a qualidade da chamada. Alguns se referem aos codecs como a alma do Asterisk. Escolher o codec correto para cada situação é de vital importância para o bom funcionamento da rede VOIP.

Protocolos definem a maneira que a comunicação irá proceder, mecanismos de sinalização, para estabelecer, manter e finalizar as conexões, e todas as questões de negociação envolvidas no processo de comunicação. Atualmente, o protocolo mais utilizado é o SIP.

3.2 Plano de Discagem

O Plano de Discagem é a configuração das aplicações do Asterisk. É nele que definimos a maneira que o PBX irá funcionar, como as rotas a serem percorridas em uma determinada chamada, configuração do correio de voz e demais aplicações. O plano de discagem contém todas as regras de conexão, representado por uma lista de instruções. Pode ser dividido em 4 sessões: Contextos, Extensões, Prioridades e Aplicações.

O Contexto é a forma de organização das extensões. Permite definir partes distintas do plano de discagem, dessa forma é possível aplicar questões de segurança e de permissões, além de proporcionar a sua organização.

As extensões são as unidades que disparam uma determinada série de instruções. Contém a regra de execução de uma entrada específica, pertencentes a um contexto. Uma extensão é representada pela seguinte expressão:

```
exten=>[ramal],[prioridade],[aplicação],[parâmetros])
```

Ramal : canal a ser chamado.

Prioridade: a ordem de execução das instruções.

Aplicação: define a aplicação a ser usada na atual instrução.

Parâmetros: parâmetros de configuração de cada aplicação.

O Quadro 1 mostra um exemplo de três extensões, mostrando algumas aplicações, seguindo uma determinada prioridade.

Quadro 1. Exemplo de Extensões.

exten => 1000,1,Dial(IAX2/1000,60,t,T)
exten => 1000,2,HungUp()
exten => 2000,1,Voicemail(\${EXTEN},u)
exten => 2000,2,Hangup()
exten => 3000,1,PlayBack(demothanks)
exten => 3000,2,Hangup()

As prioridades dão ordem as listas de instruções, sendo executadas em ordem crescente. Definem o fluxo de execução de uma determinada extensão. Não há necessidade de numeração consecutiva, pois 1,3,5,8 sera executado em sua a ordem. Outro detalhe, que pode-se iniciar a extensão com prioridade 1 e seguir com a prioridade “n” para todas as outras instruções, sendo então executadas uma a uma, tomando em conta sua posição. Esta função torna muito útil a programação em extensões muito complexas, com várias instruções. Exemplo:

Quadro 2. Uso da Prioridade n nas extensões.

exten => 5000,1,PlayBack(demothanks)
exten => 5000,n,Dial(IAX2/5000,60,t,T)
exten => 5000,n,PlayBack(ura)
exten => 5000,n,Hangup()

As aplicações são as decisões tomadas no plano de discagem. Elas são as atitudes tomadas em cada passo que a lista de instruções vai sendo executada. Pode ser uma aplicação de discagem, finalização de uma chamada, correio de voz, tocar um arquivo de som dentre outros.

3.3 Canais

Os canais, também conhecidos por peers, são a representação das conexões. Para melhor entender o conceito de canal, vimos na sessão anterior, sobre o Plano de Discagem, a aplicação Dial usa como parâmetro um canal. O canal explicita a tecnologia que o implementa, exemplos são canais SIP e canais IAX.

Um tipo de canal muito importante são os chamados canais ZAP, responsáveis por estabelecer conexões com a rede pública de telefonia. Esses canais interligam as redes VOIP a redes telefônicas convencionais.

Cada canal apresenta parâmetros de configuração. Os principais são:

1. port: a porta que o Asterisk estabelece para a conexão do canal.
2. bindaddr: endereço IP do servidor Asterisk.
3. context: define o contexto que o canal possui no plano de discagem.
4. type: o tipo do canal, podendo assumir friend, user, peer, onde o canal tem permissão de realizar e receber chamadas, apenas realizar chamadas, apenas receber chamadas, respectivamente.
5. secret: senha para conexão do canal.

3.4 Observações sobre o Capítulo

O Asterisk é um dos softwares mais utilizados para prover serviços em VOIP e em telefonia IP. É de código aberto e uso gratuito, sendo uma solução relativamente barata se comparado as tecnologias proprietárias, que geralmente possuem um alto custo de implementação. A sua arquitetura é constituída pelas Aplicações, Canais, Codecs e Protocolos.

O plano de discagem é a configuração principal das aplicações, sendo definido um roteiro para cada entrada, ou canal, onde as aplicações são colocadas em uma determinada ordem de execução.

Os canais representam um ponto de comunicação. São as conexões feitas ao servidor VOIP. Cada ramal da rede é considerado um canal, assim como as ligações entre servidores e ligações com a PSTN.

4 Qualidade de serviço

A Qualidade de Serviço define características que influenciam na percepção do usuário (HARTMANN, E.A, 2006). Visto também como sendo a garantia que determinados padrões seja obedecidos, mantendo os parâmetros relevantes dentro de um limite máximo e mínimo pré-estabelecido.

Definir o que realmente é Qualidade de Serviço é problemático, sendo um assunto muito subjetivo, interpretado de diferentes formas, cada circunstância envolve medidas diferentes. De modo geral, QoS é definido como uma forma de priorizar o tráfego de informações de determinadas aplicações, de forma consistente e previsível, mesmo que os demais dados sejam prejudicados.

Muitos são os parâmetros e os itens a serem levados em conta ao se implementar QoS, mas um dos mais básicos requisitos é a vazão, ou banda, sendo uma necessidade primária a todas as aplicações candidatas a receber a atenção de QoS.

Dentre os parâmetros que mais influencia na Qualidade de serviço estão:

- **Vazão ou banda:** que representa a largura de banda efetiva, relacionada a tecnologia de transmissão.
- **Atraso:** tempo necessário para uma informação sair do emissor e atingir o receptor. Varias são as fontes de atraso, a própria interface, o meio em que os dados estão sendo transmitidos.
- **Variação do atraso:** conhecido como jitter, prejudica principalmente aplicações com características de tempo real, dificultando a sincronização entre as mídias enviadas.

Tradicionalmente, existe dois modos de se implantar Qualidade de Serviço. O modo IntServ, que se preocupa em dimensionar e reservar recursos antes dos dados começarem a trafegar pela rede. Outro modo é o DiffServ, que trabalha com a priorização dos dados, classificando os dados em níveis de importância.

5 Projeto

O projeto tem o objetivo de implementar uma rede de Voz sobre IP, distribuída em 4 unidades, sendo utilizada a Internet como meio de interconexão, definindo os processos necessários, bem como a configuração dos servidores de cada unidade.

Utilizar marcação de pacotes, mecanismos e políticas de Qos, utilizando como artifícios um firewall Linux com iproute2 , traffic shapping nos roteadores e Jitter Buffers no Asterisk 1.4, para melhorar a qualidade de audio na rede.

Fazer uma análise de codes de áudio, soft-phones, aparelhos IP, utilizando o Asterisk como PBX, em ambiente real, com suas partes localizadas em diferentes estados do pais.

Levantar os requisitos de nível de usuário, que influenciam direta e indiretamente na qualidade de serviço, definindo o perfil e as necessidades de cada grupo de usuários.

5.1 Cenário

O cenário apresenta componentes bastante diversificados. Utiliza telefones IP, soft-phones, um firewall implementado em Linux e quatro servidores VOIP, usando o Asterisk como PABX IP.

É um cenário com características reais, sendo utilizado como ambiente de produção, ou seja, a estrutura esta sendo utilizada em nível comercial, e não somente como ambiente de testes. Possuindo unidades espalhadas em vários estados do Brasil. As unidades são conectadas através da internet. Essa ligação, utilizando a internet, justifica todos os esforços na implementação de políticas de QoS na rede, uma vez que o trafego através dela não é confiável, sendo necessário meios de garantir que a qualidade de áudio da aplicação obedeça níveis viáveis de utilização.

A Tabela 2 mostra a configuração de cada servidor utilizado na construção de rede VOIP, contendo o informações sobre o processador, memoria e interface com a rede de telefonia convencional.

Tabela 2. Configuração de Hardware dos Servidores.

Servidor	Processador	Memória	Interface PSTN
Servidor 1	Dual Core 1.6 Ghz	1GB	FXO TDM400
Servidor 2	Dual Core 2.4 Ghz	2 GB	Sem interface
Servidor 3	Celeron D 315 2,26 Ghz	512 MB	Sem interface
Servidor 4	Dual Core 1.6 Ghz	1 GB	FXO TDM400
Firewall	Dual Core 2.4 Ghz	2 GB	Sem interface

Todos os Servidores, inclusive o firewall, estão utilizando o Sistema Operacional Linux Debian Etch 4, e Asterisk na versão 1.4. Estão conectados a internet através de modems ADSL.

5.1.1 Visão Geral

A figura abaixo mostra a visão geral do cenário, mostrando a disposição lógica dos servidores e os dispositivos a eles conectados.

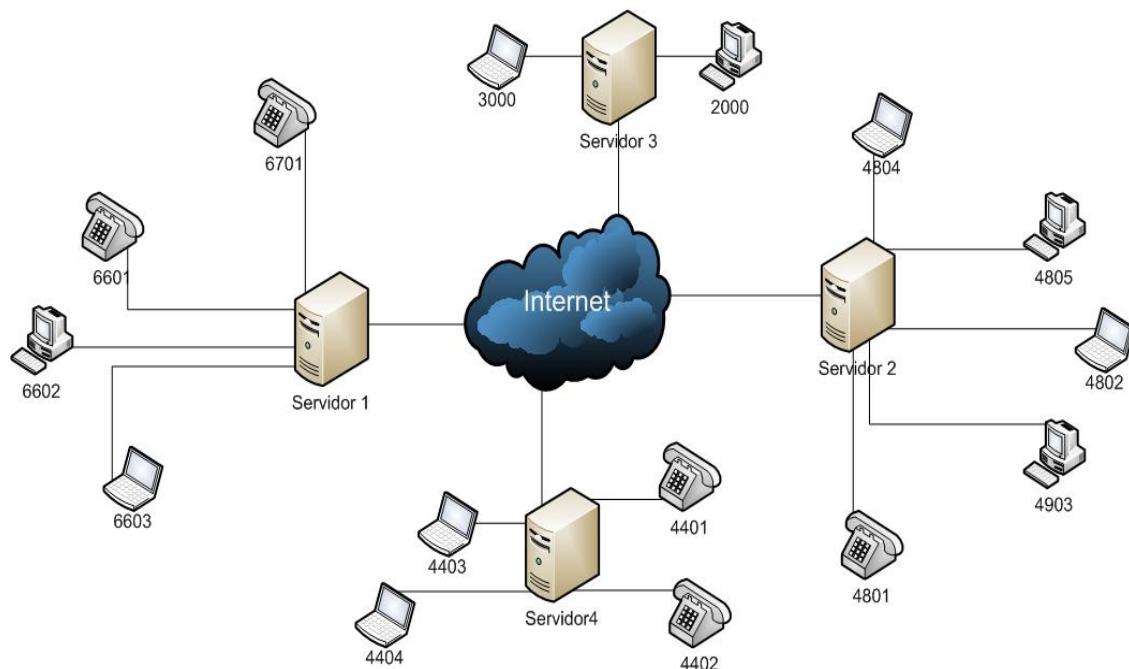


Figura 9. Visão Geral do Projeto.

5.1.2 Unidade 1

A Unidade 1 possui o Servidor 1, juntamente com dois telefone IP, sendo um conectado remotamente pela internet ao Servidor. Apresenta também um computador Desktop e um Notebook, ambos utilizando um Soft-phone para a comunicação. Os dispositivos estão ligados a rede Ethernet 100 Mbps, e ligados a internet através de modem ADSL. O link WAN possui 512 Kbps, para upload e donwload. A Figura 10 mostra a estrutura física de rede na Unidade 1.

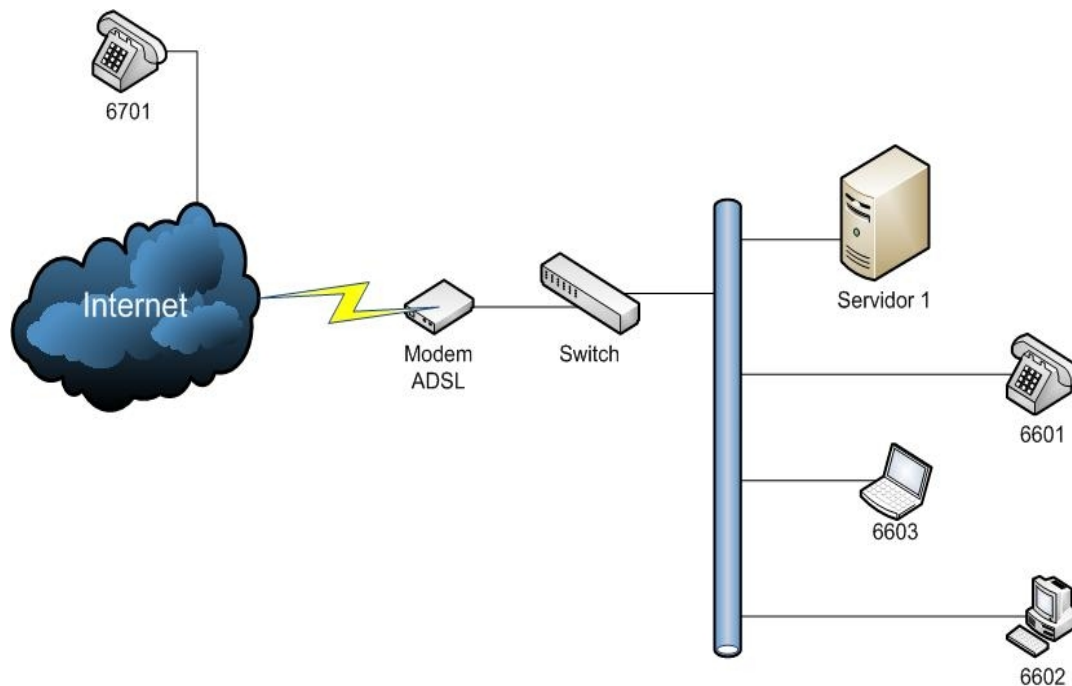


Figura 10. Estrutura Física da Unidade 1.

5.1.3 Unidade 2

A Unidade 2 possui o Servidor 2, um telefone IP, dois computadores Desktop e dois Notebooks, utilizando Soft-phone para a comunicação VOIP. Essa Unidade implementa o Firewall responsável por promover Qualidade de Serviço na Rede IP. Os dispositivos estão ligados a rede Ethernet 100 Mbps, e ligados a internet através de modem ADSL. O link WAN possui 512 Kbps, para upload e donwload. A Figura 11 mostra a estrutura física de rede na Unidade 2.

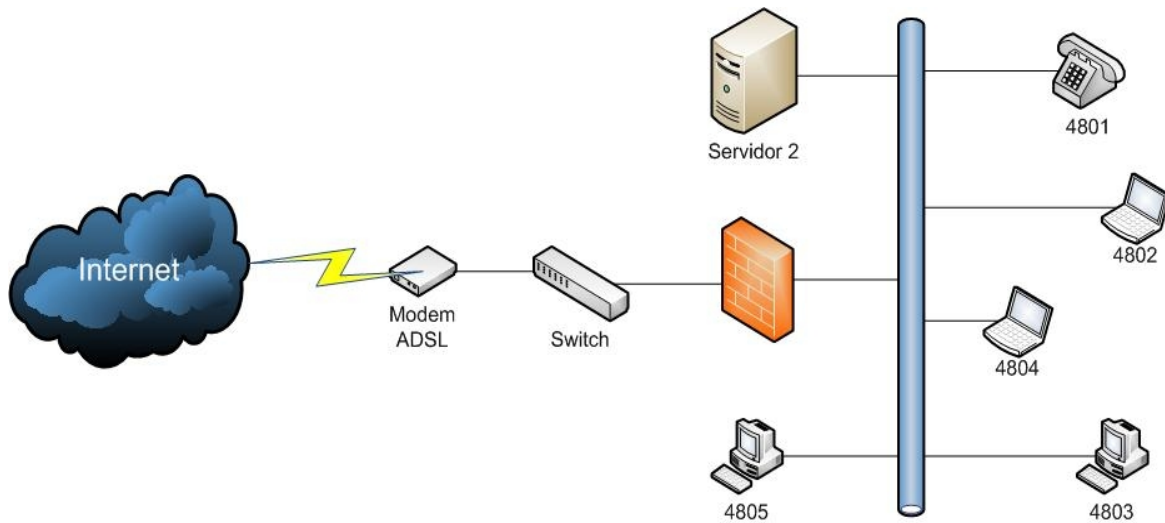


Figura 11. Estrutura Física da Unidade 2.

5.1.4 Unidade 3

A Unidade 3 possui o Servidor 3, um computador Desktop e um Notebook, ambos utilizando Soft-phone para a comunicação VOIP. Um detalhe dessa estrutura é a utilização de ponto de acesso a rede sem fio, Mostrando que dispositivos que utilizam redes sem fio também participam da rede VOIP. Os dispositivos estão ligados a rede Ethernet 100 Mbps, e ligados a internet através de modem ADSL. O link WAN possui 512 Kbps, para upload e download. A Figura 12 mostra a estrutura física de rede na Unidade 3.

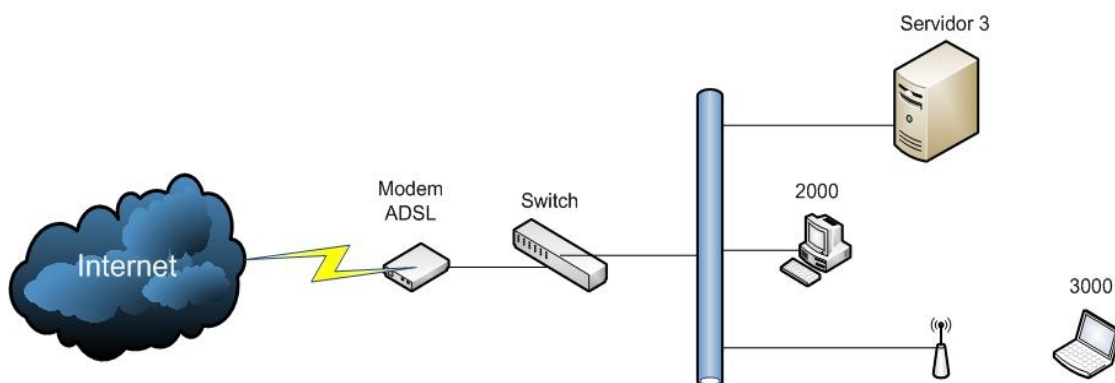


Figura 12. Estrutura Física da Unidade 3.

5.1.5 Unidade 4

A Unidade 4 possui o Servidor 4, dois telefones IP e dois Notebooks, ambos utilizando Soft-phone. Os dispositivos estão ligados a rede Ethernet 100 Mbps, e ligados a internet através de modem ADSL. O link WAN possui 1024 Kbps, para download e 512Kbps para donwload. A Figura 13 mostra a estrutura física de rede na Unidade 4.

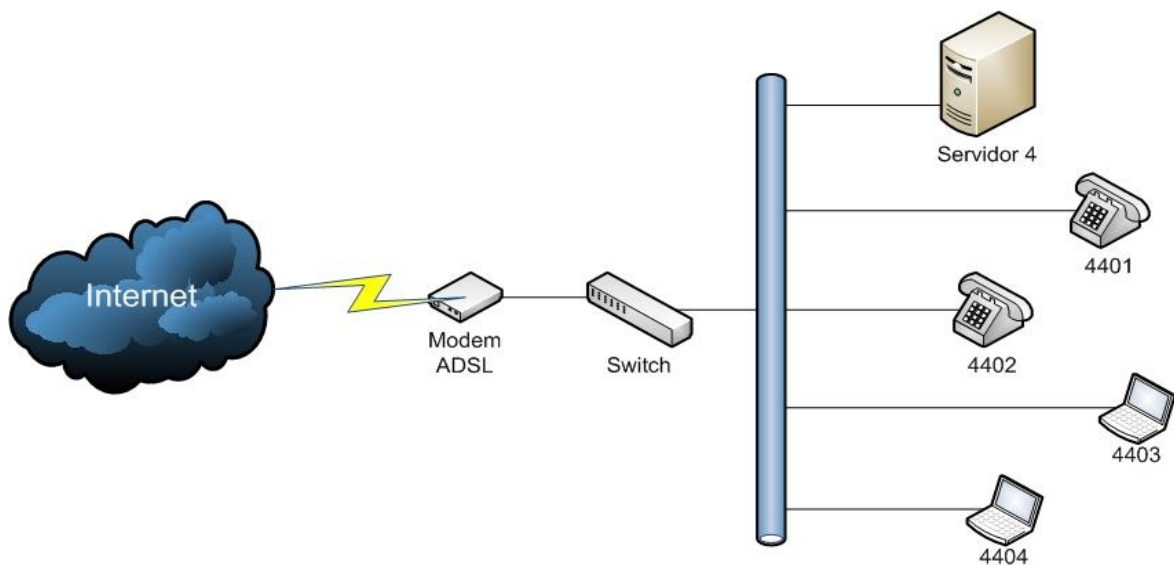


Figura 13. Estrutura Física da Unidade 4.

5.1.6 Disposição Geográfica

O Projeto implementou uma rede de Voz Sobre IP. Essa rede está distribuída em quatro unidades, sendo as unidades separadas geograficamente. A Figura 14 mostra a estrutura geral da rede, considerando a distribuição das unidades em suas regiões de atuação, dessa forma, contribuindo para uma melhor compreensão do Projeto.

A unidade 1 encontra-se no estado do Mato Grosso, com um aparelho de Telefone IP localizado no estado do Mato Grosso do Sul. A Unidade 2 e 3 localizam-se no estado de Santa Catarina. A Unidade 4 está na estado do Paraná.

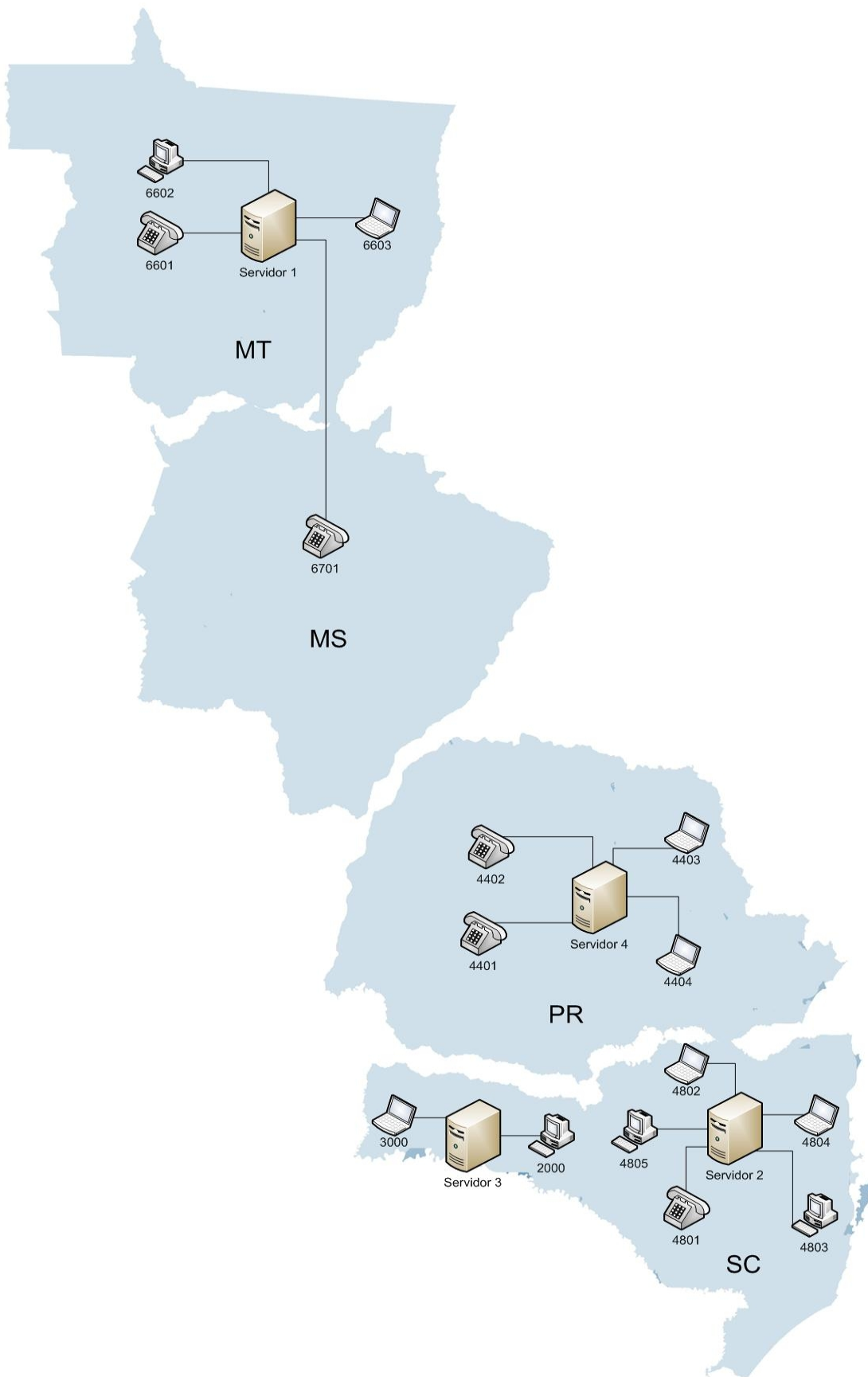


Figura 14. Disposição Geográfica das Unidades.

5.2 Configuração dos Servidores

A configuração do Servidor são os Canais e o Plano de Discagem. É realizada através de arquivos, em modo texto. Existe uma forma de armazenar a configuração em banco de dados. Essa forma é chamada de Real Time, e não foi abordada no Projeto. Os canais encontram-se no arquivo `iax.conf` e o Plano de Discagem em `extensions.conf`. A configuração dos servidores é apresenta abaixo.

Quadro 3. Canais do Servidor 1.

<pre>bindaddr=10.1.1.20 disallow = all allow = g711 context=default</pre>
<pre>[6601] type=friend host=dynamic secret=6601 callerid="Jose"</pre>
<pre>[6602] type=friend host=dynamic secret=6602 callerid="Patricia"</pre>
<pre>[6603] type=friend host=dynamic secret=6603 callerid="Fernanda"</pre>
<pre>[6701] type=friend host=dynamic secret=6701 callerid="Agua Doce"</pre>

Quadro 4. Canais do Servidor 2.

bindaddr=10.1.1.20 disallow = all allow = g711
[4801] type=friend host=dynamic secret=4801 context=default callerid="Ivan"
[4802] type=friend host=dynamic secret=4802 context=default callerid="Eduardo"
[4803] type=friend host=dynamic secret=4803 context=default callerid="Pov"
[4804] type=friend host=dynamic secret=4804 context=default callerid="Alex"
[4805] type=friend host=dynamic secret=4805 context=default callerid="Import"

Quadro 5. Canais do Servidor 3.

Bindaddr= 10.1.1.34 disallow = all allow = g711
[2000] type=friend host=dynamic secret=2000 context=default callerid="Leonardo"
[3000] type=friend host=dynamic secret=3000 context=default callerid="ADM"

Quadro 6. Canais do Servidor 4.

bindaddr=10.1.1.20 disallow = all allow = g711
[4401] type=friend host=dynamic secret=4401 context=default callerid="Gerson"
[4402] type=friend host=dynamic secret=4402 context=default callerid="Vilson"
[4403] type=friend host=dynamic secret=4403 context=default callerid="Lurdes"
[4404] type=friend host=dynamic secret=4404 context=default callerid="Etto"

Quadro 7. Plano de Discagem do servidor 1.

exten => 6601,1,Dial(IAX2/6601,60,t,T)
exten >= 6601,2,hungup
exten => 6602,1,Dial(IAX2/6602,60,t,T)
exten >= 6602,2,hungup
exten => 6603,1,Dial(IAX2/6603,60,t,T)
exten >= 6603,2,hungup
exten => 6701,1,Dial(IAX2/6701,60,t,T)
exten >= 6701,2,hungup

Quadro 8. Plano de Discagem do servidor 2.

exten => 4801,1,Dial(IAX2/4801,60,t,T)
exten >= 4801,2,hungup
exten => 4802,1,Dial(IAX2/4802,60,t,T)
exten >= 4802,2,hungup
exten => 4803,1,Dial(IAX2/4803,60,t,T)
exten >= 4803,2,hungup
exten => 4804,1,Dial(IAX2/4804,60,t,T)
exten >= 4804,2,hungup
exten => 4805,1,Dial(IAX2/4805,60,t,T)
exten >= 4805,2,hungup

Quadro 9. Plano de Discagem do servidor 3.

exten => 2000,1,Dial(IAX2/2000,60,t,T)
exten >= 2000,2,hungup
exten => 3000,1,Dial(IAX2/3000,60,t,T)
exten >= 3000,2,hungup

Quadro 10. Plano de Discagem do servidor 4.

exten => 4401,1,Dial(IAX2/4401,60,t,T)
exten >= 4401,2,hungup
exten => 4402,1,Dial(IAX2/4402,60,t,T)
exten >= 4402,2,hungup
exten => 4403,1,Dial(IAX2/4403,60,t,T)
exten >= 4403,2,hungup
exten => 4404,1,Dial(IAX2/4404,60,t,T)
exten >= 4404,2,hungup

5.3 Interligando Servidores

O servidores VOIP precisam estar interligados para que os telefones a eles conectados possam fazer chamadas a outros domínios. Para fazer essa ligação utilizou-se o protocolo IAX2, em modo Trunked.

O modo Trunked proporciona grande vantagem, pois possibilita que várias chamadas utilizem apenas um canal de comunicação, reduzindo a repetição de informação de endereçamento nos pacotes IP, reduzindo assim a banda necessária.

Uma análise comparativa de consumo de banda está demonstrado na Tabela 3 e Tabela 4. A análise é baseada no protocolo IAX2, levando em consideração o modo Trunked, codecs mais utilizados e com 4 chamadas simultâneas.

Tabela 3. Consumo de Banda IAX2 em Link PPP.

Codec	Chamadas simultâneas	Banda Passante (1 chamada)	Banda Passante (Todas chamadas)	Banda Passante com overhead
G711	4	82.40 Kbps	329.60 Kbps	346.08 Kbps
G729	4	26.40 Kbps	105.60 Kbps	110.88 Kbps
ILBC 15.2	4	33.60 Kbps	134.40 Kbps	141.12 Kbps
ILBC 13.3	4	25.34 Kbps	101.36 Kbps	106.43 Kbps
GSM	4	31.60 Kbps	126.40 Kbps	132.72 Kbps

Tabela 4. Consumo de Banda IAX2 (Trunked) em Link PPP.

Codec	Chamadas simultâneas	Banda Passante (1 chamada)	Banda Passante (Todas chamadas)	Banda Passante com overhead
G711	4	84.00 Kbps	282.40 Kbps	296.52 Kbps
G729	4	28.00 Kbps	58.40 Kbps	61.32 Kbps
ILBC 15.2	4	35.20 Kbps	87.20 Kbps	91.56 Kbps
ILBC 13.3	4	26.40 Kbps	70.22 Kbps	73.73 Kbps
GSM	4	33.20 Kbps	77.60 Kbps	81.48 Kbps

A configuração do tronco IAX2 deve ser feita em todos os servidores da rede. A interconexão do servidor é vista como um canal, é interpretada no Asterisk como sendo uma rota de comunicação. É necessário que esse mesmo canal esteja devidamente registrado nas duas pontas, ou seja, os dois servidores a serem conectados devem saber da existência da ligação.

Essa estrutura implica que todos os servidores da rede estejam conectados entre si, uma vez que deseja-se uma comunicação completa entre todos os dispositivos disponíveis. A Conexão dos troncos está exemplificada na Figura 15.

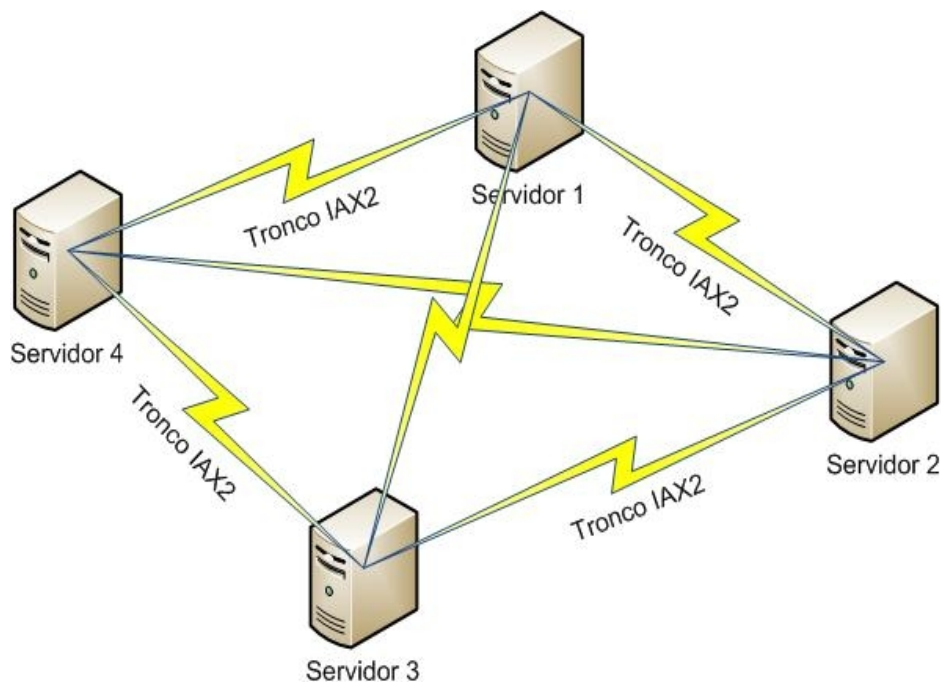


Figura 15. Conexão entre os Servidores Asterisk.

5.3.1 Configuração dos Troncos

A Construção dos troncos envolve a configuração dos canais, uma vez que é dessa forma que o Asterisk interpreta um tronco, e na configuração do Plano de Discagem, onde irá definir, através de rotinas, o direcionamento das chamadas entre os servidores. A configuração necessária para a construção dos troncos IAX2 nos servidores da rede, esta representada abaixo, em forma de quadros, e se aplica a todos os servidores da rede.

Quadro 11. Configuração do Canal para o Tronco IAX2.

<pre>[-peer] username=servidorX-user type=peer secret=password qualify=yes host=IP disallow=all allow=g729]</pre>
<pre>[-user] type=user secret=password host=IP disallow=all context=from-internal disallow=all allow=g729</pre>

Em destaque está a configuração para utilização do codec g729, uma vez que foi estabelecido o seu uso devido a economia no consumo de banda. A primeira linha destaca a desativação de todos os cadecs, e a segunda ativa somente o g729. Cada Servidor irá precisar registrar manualmente ou outros servidores, através da CLI no Asterisk.

Quadro 12. Comandos de Registro Manual dos Trocos IAX2.

register => servidor1-peer:password@IP
register => servidor2-peer:password@IP
register => servidor3-peer:password@IP
register => servidor4-peer:password@IP

Quadro 13. Configuração do Plano de Discagem entre Servidores.

exten => _6XX,1,Dial(IAX2/servidor1-peer/\${EXTEN:1},60,r)
exten => _48XX,1,Dial(IAX2/servidor2-peer/\${EXTEN:1},60,r)
exten => 2000,1,Dial(IAX2/servidor3-peer/\${EXTEN:1},60,r)
exten => 3000,1,Dial(IAX2/servidor3-peer/\${EXTEN:1},60,r)
exten => _44XX,1,Dial(IAX2/servidor4-peer/\${EXTEN:1},60,r)

Na comunicação interna dos ramais, o codec utilizado é o g711, pois possibilita a melhor qualidade possível de áudio, uma vez que esta sendo executado em uma rede local ethernet, com banda de 100 Mbps.

Na comunicação dos troncos, o codec g711 não é indicado, pois os links WAN possuem uma banda muito menor, no caso do projeto em questão, 512 Kbps, sendo necessário um codec de áudio que faça compactação da voz. Para esse caso utilizaremos o codec g729.

O uso do codec g729 implica na utilização de recursos de processamento. A figura abaixo mostra o custo de tradução de cada codec.

```
[root@asterisk1 ~]# asterisk -rx 'show translation'
Translation times between formats (in milliseconds)
Source Format (Rows) Destination Format (Columns)
g723  gsm  ulaw  alaw  g726  adpcm  slin  lpc10  g729  speex  ilbc
g723  -    -    -    -    -    -    -    -    -    -
gsm   -    -    5    5    14   5    4    19   97   215  76
ulaw  -    13   -    1    11   2    1    16   94   212  73
alaw  -    13   1    -    11   2    1    16   94   212  73
g726  -    22   11   11   -    11   10   25   103  221  82
adpcm -    13   2    2    11   -    1    16   94   212  73
slin  -    12   1    1    10   1    -    15   93   211  72
lpc10 -    24   13   13   22   13   12   -    105  223  84
g729  -    32   21   21   30   21   20   35   -    231  92
speex -    24   13   13   22   13   12   27   105  -    84
ilbc  -    26   15   15   24   15   14   29   107  225  -
Verbosity is at least 1
[root@asterisk1 ~]#
```

Figura 16. Custo de tradução de codecs.

5.4 Ligação com a Rede Pública de Telefonia

Uma rede VOIP pode se conectar a rede convencional de telefonia através de placas de interface analógicas ou digitais, do tipo ISDN. Dessa forma, um ramal IP pode fazer ligações para qualquer telefone convencional (não VOIP).

O cenário desse trabalho utiliza duas interfaces analógicas, com 4 módulos FXO cada, possibilitando dessa forma a conexão de até 8 linhas convencionais. Segue abaixo a configuração da interface PSTN TDM400.

Quadro 14. Configuração TDM400 zaptel.conf.

```
defaultzone = br  
loadzone = br  
fxoks=4 ; Sinalização FXS_ks (para portas FXO)
```

Quadro 15. Configuração TDM400 zapata.conf.

```
[channels]  
anguage=br  
context=default  
echocancel=yes  
signalling=fxo_ks ; Sinalização FXS_ks (para portas FXO)  
channel => 1-4
```

5.5 Implementação de Qualidade de Serviço

O projeto aborda QoS de duas formas, uma sendo a maneira mais tradicionalmente utilizada, que é a implementação de políticas de diferenciação de serviços na rede, utilizando um firewall. A outra forma é a abordagem de requisitos na interface do usuário, ou seja, parâmetros tangíveis pelos usuários da rede VOIP.

Essa segunda abordagem considera a qualidade dos equipamentos de usuário, das facilidades e funcionalidades por eles proporcionadas.

Com isso, é possível definir perfis de usuários, podendo dessa forma mapear de maneira mais correta as necessidades e habilidades de cada grupo de usuários, para melhor escalonar os recursos e equipamentos de Voz sobre IP.

5.5.1 QoS na Rede IP

A implementação consiste na utilização de firewall Linux com iproute2, QoS e traffic shapping nos roteadores da rede, agregando o uso de jitter buffer para melhorar o áudio.

5.5.1.1 Marcação de pacotes

Como as aplicações de VOIP são sensíveis ao atraso, deve-se priorizar o trafego desse tipo de informação na rede, para minimizar esta variável. A priorização se faz por meio de marcação de pacotes. A rede VOIP foi projetada para utilizar o protocolo IAX2, então prioriza-se o trafego na porta que é usada pelo protocolo, no caso UDP 4569.

Para que exista a diferenciação de serviço, políticas de trafego devem ser estabelecidas. Dessa forma, três filas são criadas para manipular os dados a serem priorizados. As filas tem prioridades entre si, sendo a primeira fila prioritária em relação a segunda, a segunda tendo prioridade à terceira.

A seleção dos pacotes e escolha da fila da-se da seguinte forma:

- Pacotes sem nenhum tipo de marcação destinam-se a fila 3.
- Pacotes marcados com a tag 0x10 destinam-se a fila 2.
- Pacotes com todos os bits de marcação ativados destinam-se a fila 1.

O Asterisk não faz a marcação de pacotes automaticamente, sendo necessário a configuração. A marcação é ativada diretamente no arquivo de configuração do canal. Deve-se especificar o parâmetro abaixo para que seja feita a marcação dos pacotes pelo Servidor.

```
tos=0x1e
```

Para garantir que todos os pacotes que contem os dados de voz tenha prioridade, é recomendado fazer a priorização por portas, priorizando a porta da aplicação no firewall da rede. A configuração segue abaixo:

Porta de destino:

```
tc filter add dev eth0 protocol ip parent 1: prio 1 u32 match ip dport 4569 0xffff flowid 1:1
```

Porta de origem:

```
tc filter add dev eth0 protocol ip parent 1: prio 1 u32 match ip sport 4569 0xffff flowid 1:1
```

Dessa maneira, a aplicação de Voz Sobre IP tem prioridade de tráfego sobre as demais, reduzindo o atraso na transmissão, e melhorando significativamente a qualidade do áudio.

5.5.1.2 Jitter Buffer

Outro mecanismo empregado para garantir QoS é utilizar Jitter Buffer nos canais do Asterisk. Uma vez que a natureza da aplicação mostra-se sensível ao atraso. Jitter é a variação do atraso, ou seja, os pacotes chegam em intervalos irregulares de tempo, causando drástico efeito negativo na qualidade do som.

O funcionamento do Jitter Buffer é de armazenar uma determinada quantidade de pacotes, e após atingida essa marca, enviar ao dispositivo de destino, com a regularidade necessária. Esse mecanismo causa um pequeno atraso final na comunicação, mas é quase imperceptível, viabilizando o seu uso.

5.5.1.3 Generic Traffic Shaping

Generic Traffic Shaping, ou GTS como chamada, (em português conhecido como Conformidade de Tráfego) provê mecanismos para controle de tráfego utilizando filtros, limitando o tráfego de saída de uma interface a uma determinada taxa. O tráfego classificado vai para um *buffer* limitador, sendo liberado sob regras pré-definidas de acordo uma política de controle de tráfego, que pode ser configurada pelo administrador ou derivada da interface.

(GOMES, A. F. 2005).

Esta técnica é aplicado somente na interface de saída, e geralmente utilizado para limitar o tráfego de informações que não são necessariamente prejudicadas pelo retardo, como transferências de arquivos.

5.5.2 QoS na Interface com o Usuário

A abordagem tradicional de Qualidade de Serviço se reflete em técnicas aplicadas nas camadas de rede, ou seja, mecanismos implementados em redes IP. Uma abordagem alternativa tenta descrever características mais visíveis aos usuários.

Nos preocupamos em dimensionar corretamente o servidor, ter uma boa infraestrutura de rede, aplicar uma política de QoS na rede entre outras, e nos esquecemos de um fator determinante para o sucesso e aceitação dos nossos projetos: a interface com o usuário. (GOES.G. 2008)

Além dos investimentos do lado de servidor, é necessário um esforço em atender algumas questões que facilitam a utilização da rede pelos usuários, uma vez que a infra-estrutura e os mecanismos implementados em QoS não são visíveis para a grande maioria, apenas percebem seus benefícios, sem enxergá-los.

Pode-se citar alguns parâmetros mais importantes, que define a maneira que os usuários percebem a rede VOIP, e com isso traçar um perfil para cada necessidade. Esses parâmetros se baseiam na escolha dos telefones IP e Soft-Phones, pois representam a primeira, e geralmente, a única visão de projeto que os usuários possuem.

Ao utilizar uma rede VOIP, os usuários esperam encontrar a mesma qualidade apresentada no serviço de telefonia convencional, além de funcionalidades extras, já que estão em um ambiente mais moderno e computadorizado de voz. Abaixo estão listados alguns requisitos e funcionalidades que os usuários mais utilizam, ou esperam poder utilizar:

- Qualidade de Áudio
- Lista Telefônica
- Histórico de Chamadas
- Discagem Rápida
- Conferência de Chamadas
- Chamada em Espera
- Navegação nos Menus.
- Viva-Voz

5.5.2.1 Telefones IP

Telefones IP são os principais dispositivos que realizam a interface com o usuário, pois são utilizados a todo momento, convivem todos os dias, por várias horas, com o aparelho. Por esse motivo é importante destacar a qualidade dos telefones IP, uma vez que, são a “cara” do projeto como um todo.

Os Telefones IP apresentam um custo relativamente elevado, e a medida que possuem mais funcionalidades, esse valor é significativamente aumentado. Está disponível no mercado uma gama muito variada desses dispositivos, proporcionando assim grande liberdade de escolha, por outro lado, disponibiliza também equipamentos de baixa qualidade, e que nem sempre satisfazem as mínimas exigências dos usuários. Podemos dividir os telefones IP em dois grande grupos: Alto Padrão e Baixo Custo.

5.5.2.2 Soft-Phones

São uma alternativa a utilização dos Telefones IP. Possuem versões que podem ser facilmente obtidas pela internet, gratuitamente. Essas versões não implementam todas as funcionalidades, e não possuem todos os codecs de áudio, apresentando apenas um modelo básico para a comunicação em uma rede VOIP. As versões sem limitações e com as funcionalidades avançadas são comercializadas pelas empresas que desenvolvem esses softwares. As versões pagas incluem alguns codecs proprietários, como o G729, tornando possível uma maior flexibilidade na escolha de codecs.

Ao se usar um Soft-Phone, deve-se levar em consideração as máquinas utilizadas, pois são os recursos dos computadores que vão refletir em alguns pontos de qualidade do software. A qualidade do som depende da placa de som da máquina, e dos dispositivos de saída de áudio, como as caixas de som ou fones de ouvido, ou seja, a qualidade do Soft-Phone esta diretamente ligada a qualidade do computador e dos dispositivos de áudio que o executa.

Com objetivo de melhor a qualidade do som, equipamentos foram desenvolvidos, como headsets e telefones USB, como alternativa a saída de áudio.

Esses equipamentos são utilizados em conjunto com os Soft-Phones, e proporcionam uma melhoria significativa na qualidade do som. A figura 17 mostra um exemplar de headset, que é ligado ao computador. A figura 18 mostra um Telefone USB, que é diretamente ligado a porta USB do computador que executa o Soft-Phone. O uso desses equipamentos proporcionam conveniências e conforto para essa alternativa aos Telefones IP, melhorando assim, do ponto de vista do usuário, a qualidade do serviço.



Figura 17. Headset.



Figura 18. Telefone USB.

5.5.2.3 Perfil de Usuário

Para cada grupo de usuários, pode-se traçar um perfil próprio, levando em consideração as suas necessidades, o grau de utilização da rede VOIP e o custo dos equipamentos.

A melhor situação seria a utilização de Telefones IP de alto padrão em toda a extensão da rede, mas isso tornaria o custo da implementação elevadíssimo, sendo até mesmo proibitivo. Nem todos exigem as mesmas necessidades ou facilidades proporcionadas pelos equipamentos, sendo possível escalonar melhor os recursos entre os usuários.

Deve-se avaliar as reais necessidades de cada grupo de usuários, para assim aplicar os recursos de maneira inteligente e adequada, reduzindo dessa forma os custos. Pesquisas apontam que grande parte do valor do projeto está na aquisição de aparelhos IP e equipamentos para a interface com o usuário. Vale lembrar que nem sempre a economia é o melhor negócio, pois existe grupos de usuários que exigem maior nível de investimento, pois possuem maior interação com a rede, conseqüentemente maiores necessidades.

A experiência mostrou que usuários com menor habilidades e conhecimentos em informática, o uso dos Soft-Phones mostrou-se problemática, uma vez que é exigido o manuseio do computador para que se faça um chamada telefônica. Nesses casos os Telefones IP são mais recomendados, pois fazem a abstração de toda a informática, deixando o seu uso mais natural.

Usuários com necessidades de mobilidade, e que apresentam mais afinidade e conhecimento tecnológico mostram-se mais adequados a utilizarem os Soft-Phones, instalados em seus notebooks, e utilizando telefones USB. Para esse grupo de usuários, esses dispositivos proporcionam conforto e facilidade de se comunicar com mobilidade.

Para os usuários com mais necessidades exigências, como gerentes de organizações, é recomendado o uso de telefones IP de Alto Padrão, pois possuem funcionalidades avançadas, e geralmente melhor qualidade nas aplicações. Esses usuários utilizam com mais freqüência o Viva-Voz, as conferencias de chamadas, e exigem que essas aplicações sejam realizadas com qualidade e praticidade, fato que dificilmente é observado nos equipamentos de baixo custo.

5.6 Observações sobre o Capítulo

Este capítulo apresentou a maneira como foi implementado o projeto da rede VOIP, mostrando seus componentes, configurações, equipamentos utilizados, mecanismos usados para proporcionar Qualidade de Serviço na rede IP e na Interface com o usuário.

A rede é composta por 4 unidades, separadas geograficamente entre si, abrangendo a Região Sul e Centro Oeste. Cada unidade possui características e dimensões diferentes. Foi apresentado a estrutura física de cada unidade, bem como os equipamentos específicos de cada uma.

Foi apresentado a configuração de cada servidor, bem como os planos de discagem, configuração dos canais envolvidos, interligação entre os servidores para realizar as chamadas entre seus canais.

Os mecanismos implementados a fim de obter Qualidade de Serviços na rede IP, assim como a suas configurações. Os mecanismos utilizados foram: Marcação de Pacotes, Jitter Buffer e Generic Traffic Shaping.

As questões relacionadas a Qualidade de Serviço na Interface com o Usuário se baseiam na escolha adequada dos Telefones IP e Soft-Phones. Os grupos de usuários, com suas necessidades e exigências específicas, definem os tipos de equipamentos a serem utilizados.

Trabalhos Futuros

Projetos envolvendo outros servidores VOIP, como por exemplo OPENSER, para explorar novos limites em comunicações de voz.

Uso de outros protocolos, como o SIP, uma vez associado ao uso do OPENSER.

Construção de ferramentas para configuração do Asterisk, explorando recursos visuais, agilizando significativamente a construção de estruturas VOIP mais complexas.

7 Conclusão

Realizar uma implementação de uma rede VOIP implica em não somente em conhecimentos técnicos em computadores e redes, mas também envolve habilidades em áreas humanas e sociais. Nem todos os objetivos a serem alcançados são resolvidos por meio da tecnologia, existem metas muito mais subjetivas e que somente são atendidas através do convívio com envolvidos.

Quanto a parte técnica, foi possível observar várias questões que definiram os caminhos que o projeto percorreu. Definir os objetivos antes de qualquer coisa foi de fundamental importância, sendo assim, evitou esforços extras com situações indesejadas, e que não estavam no escopo do projeto.

O Projeto trata de uma rede separada geograficamente, utilizar a internet para interligá-los traz benefícios como o custo reduzido,, além de necessitar de pouca reestruturação da rede. Por outro lado, a Internet não é um meio confiável, e apresenta recursos limitados para a transferência de dados. sendo assim, necessário algumas considerações.

Um dos principais problemas encontrados está relacionado a natureza das redes que utilizam a internet, pois implica-se no uso de NAT. O protocolo mais utilizado em redes VOIP usa o protocolo SIP, muito vulnerável a NAT, ocasionando inúmeros problemas na comunicação. Com isso, conclui-se que o protocolo de sinalização e tráfego de mídia mais adequado seria o IAX2, que possui evidentes vantagens com o tratamento de NAT, comparado ao SIP.

Outro ponto considerado foi a limitação da banda nos links de internet entre os Servidores. Como possuem uma banda reduzida, se comparada com a rede local, precisaram utilizar codecs de compressão de áudio mais eficientes e que mais se adaptavam ao meio que seriam transportados. Para tal viu-se a necessidade do uso do codec G729. Utilizar a comunicação entre os servidores Asterisk em modo Trunking mostrou uma considerável economia de banda, uma vez que o overhead necessário é reduzido.

Para que o Projeto VOIP seja aceito e aprovado, um nível de qualidade deve ser obedecido, não sendo aceito cortes e quedas nas chamadas. Para isso Mecanismos de Qualidade de Serviço na rede IP foram implementados. A Priorização do Tráfego dentro da rede mostrou-se muito útil, não sendo mais observado a queda da qualidade das chamadas, quando outra aplicação não prioritária em relação ao VOIP era executada.

O uso de Jitter Buffer melhorou a qualidade das comunicações remotas, aonde a variação do atraso era mais observado. Com a técnica de Traffic Shaping para evitar certos gargalos, foi possível limitar certos tráfegos de saída causavam congestionamentos na rede. Com todas essas implementações na rede IP para promover um nível de Qualidade de Serviços, observou-se que era viável o uso do VOIP nas instalações, tornando a aplicação confiável.

A implementação da Qualidade de Serviço na Interface com o Usuário, trouxe mais comodidade, conforto, confiabilidade e redução dos custos no Projeto. A escolha de equipamentos de usuários, como Telefones IP e Soft-Phones adequados para cada tipo de usuário, tornou possível que as necessidades e exigências específicas de cada grupo fossem atendidas.

Uma grande dificuldade encontrada foi a interligação de canais remotos em regiões onde a internet não está implementada com qualidade necessária. Uma tentativa de implementação em uma região de difícil acesso, onde a internet era disponibilizada em forma de rádio, não apresentou condições de utilização. Observou-se, através de pings, tempos superiores a 400 ms, chegando a marcas próximas a 1s. Um grande atraso nas transmissões dos pacotes, aliada a um elevado Jitter, tornaram a comunicação VOIP inviável.

Contudo, a tecnologia de Voz Sobre IP é perfeitamente viável e significativamente mais econômica. Observados os requisitos de Qualidade de Serviço, cumprindo as exigências e necessidades dos usuários, pode ser utilizada em ambiente de produção, substituindo gradualmente o sistema de telefonia convencional.

8 Referências Bibliográficas

- VETTER, M. Uma Abordagem para Prevenção de Ataques em Ambiente de Telefonia IP Baseado em IPS. Florianópolis – SC, 2008. Universidade Federal de Santa Catarina.
- MADEIRA, F. T. T. Segurança em Redes de Voz Sobre IP. Olinda, 2007, Faculdades Integradas Barros Melo.
- SOUSA, J. M. Protótipo de um Sistema de Voip (Voz sobre IP), Blumenal- SC, Novembro de 2001. Universidade Regional de Blumenal.
- COMER, D. E. Internetworking with TCP/IP: Volume I – Principles, Protocols and Architecture, 4ª edição, Prentice-Hall, 2000, Upper Saddle River, NJ.
- COMER, D. E. Redes de computadores e Internet. Bookman Companhia, 2007.
- WING, Dan. SIP Identity using Media Path. IETF69, Chicago, Julho de 2007
- SPENCER. M. Inter-Asterisk eXchange Version 2. April 15, 2007
- SPENCER. M; ALLISON. M; RHODES. Handbook Documentation, 2003
- GOES. G. Ergonomia de um Projeto. 30 de junho de 2008.
- SOUZA, I.L.O. SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE PBX BASEADO NO ASTERISK EM ÂMBITO DE PEQUENO E MÉDIO PORTE. Departamento de Ciência da Computação, Instituto de Matemática, Universidade Federal da Bahia
- BUNN, A. Avaliação do Serviço de QOS no FreeBSB. Florianópolis, 2004
- GOMES, A. F. Qualidade de Serviço em Voip (Voz sobre IP). Montes Claros, junho de 2005. Universidade Estadual de Montes Claros, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
- HARTMANN, E. A ; PACHECO, E.L. QOS em WIRELESS. Florianópolis – SC, 2006. Universidade Federal de Santa Catarina.
- G.711, ITU-T Recommendation, Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies, 1988.
- G.729, ITU-T Recommendation, Coding of Speech at 8 kbit/s Using Conjugate Structure-algebraic-code-excited Linear Prediction (CSs-ACELP), 1996.
- MONTEIRO, R. F. Implementação de transporte robusto de voz em rede baseadas em protocolos IP. 2000. 85 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ZHANG, Y. SIP-based VoIP network and its interworking with the PSTN.
Sch. of Inf. Sci. & Eng., Shandong Univ., Jinan; Dezembro 2002.