

Ana Flávia Marinho de Lima

*Monitoramento SNMP para Avaliar a
Qualidade das Chamadas em um Ambiente
VoIP*

Fortaleza - Ceará

21 de agosto de 2006

Ana Flávia Marinho de Lima

*Monitoramento SNMP para Avaliar a
Qualidade das Chamadas em um Ambiente
VoIP*

Esta dissertação é apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia em Teleinformática do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia em Teleinformática.

Orientador:

José Neuman de Souza, Dr.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA EM TELEINFORMÁTICA

Fortaleza - Ceará

21 de agosto de 2006

Dissertação de Mestrado sob o título *Monitoramento SNMP para Avaliar a Qualidade das Chamadas em um Ambiente VoIP*, defendida por Ana Flávia Marinho de Lima, aluna do Curso de Pós-Graduação em Engenharia em Teleinformática do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará e aprovada em Fortaleza, Estado do Ceará, pela banca examinadora constituída pelos professores doutores:

Prof. José Neuman de Souza, Dr.
Orientador

Prof. Giovanni Cordeiro Barroso, Dr.
Universidade Federal do Ceará.

Prof. Danielo Gonçalves Gomes, Dr.
Universidade Federal do Ceará.

Prof. Edjair de Souza Mota, Dr.
Universidade Federal do Amazonas.

Dedico a Deus, meu fiel companheiro, pai e amigo de todas as horas.

À minha querida mãe, Maria Lúcia, que através do seu amor e orientação, me ensinou a trilhar os caminhos para a busca dos meus objetivos.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, força e luz que me guiam em todos os passos da minha vida.

Aos meus pais Newton e Maria Lúcia, pela vida, amor, educação e apoio em todos os momentos.

Ao meu orientador prof. José Neuman de Souza, pela oportunidade, crédito e principalmente pelas palavras colocadas nos momentos adequados.

Aos meus irmãos Amarylton e Tatiane, pelo apoio dado, principalmente na minha vida acadêmica. E a todos os meus familiares que sempre acreditaram e torceram por mim.

Ao meu noivo Aredes Júnior por sua dedicação e paciência.

A todos os meus amigos e colegas, em especial, Atslands Rocha, Janine Costa, Adriana Martins, Adriana Myrley, Katy Magalhães, Melissa Villar, João Carlos, Cláudio Teles, Ajalmar Rocha, Kelly Martins, Diogo Ananias, Alice Faleiro, Lionísio Filho, Cláudia Márcia, Fabiana Harami e Viviane Melo.

Aos meus amigos e companheiros Francisco Raphael Ribeiro, Maiquel Sampaio de Melo e Wellington Albano, pelas horas dedicadas ao desenvolvimento deste trabalho e escrita dos artigos.

Aos colegas da UFAM, Leandro Galvão, Regeane Aguiar e prof. Edjair Mota, pelo nosso trabalho em equipe que gerou valiosos frutos.

Aos meus colegas do PoP-CE, Wellington Albano, Marcos Frota, Adriana Myrley, Camilo Camurça e Jonathan Maia pelo apoio técnico, carinho e amizade.

Aos professores Danielo Gonçalves Gomes, Mateus Mosca Viana e André Jalles, pelo carinho e atenção dados em todos os momentos solicitados.

Ao prof. Paulo Henrique de Aguiar Rodrigues, pela competência com que coordena os projetos VoIP da RNP.

Aos colegas da UFRJ, João Carlos Almeida Peixoto e Fábio David.

Ao coordenador prof. João César Moura Mota, pela dedicação e competência com que coordena o DETI.

Aos professores das disciplinas cursadas, José Neuman de Souza, Javam de Castro Machado, Helano Castro e Rossana Maria de Castro Andrade, pela participação e contribuição dada.

Aos professores Giovanni Cordeiro Barroso, Danielo Gonçalves Gomes e Edjair Mota pelas sugestões e correções;

À FUNCAP, por contemplar-me com a bolsa de estudos para a realização desta pesquisa.

Aos demais alunos, professores e funcionários dos Departamentos de Engenharia de Teleinformática, de Engenharia Elétrica e de Computação.

Enfim, a todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

O coração do homem pode fazer planos, mas a resposta certa dos lábios vem do senhor.

Confia ao senhor a tuas obras, e os teus desígnios serão estabelecidos;

O coração do homem traça o seu caminho, mas o senhor lhe dirige os passos;

A sorte se lança no regaço, mas do senhor procede toda a decisão.

Provérbios 16 - Bíblia Sagrada.

Resumo

A transmissão de voz pela rede IP vem conquistando a cada dia mais usuários, pela facilidade do uso e redução de custo nas ligações. Voz sobre IP, ou simplesmente VoIP, é uma aplicação que transmite voz empacotada pelo protocolo IP (*Internet Protocol*). Em VoIP, a voz é transmitida em uma rede de pacotes IP, o que vem a se tornar um desafio no que diz respeito à qualidade das chamadas, pois a rede IP não é adequada para transportar pacotes em tempo real, já que seu funcionamento baseia-se no best effort, ou seja, no melhor esforço. Devido a essa característica, a rede IP não garante a entrega confiável dos pacotes ao seu destino. Estudos sobre a qualidade da chamada nas redes VoIP são muito relevantes, pois este é um fator chave para conquistar o usuário que por sua vez, está cada vez mais exigente. Com o crescente desenvolvimento de novas aplicações, como a voz sobre IP, a tarefa de gerência se torna fundamental para manter o bom funcionamento da rede e conseqüentemente, garantir a satisfação dos usuários. Este trabalho tem como proposta apresentar um cenário com base no modelo de gerência SNMP (*Simple Network Management Protocol*) para monitorar o comportamento dos fatores, tais como perdas e atrasos que degradam a qualidade das chamadas e a medição da qualidade dessas chamadas em uma rede VoIP. Monitorar o comportamento desses fatores e o resultado da qualidade das chamadas manterá o administrador da rede informado periodicamente a respeito dessas informações e, conseqüentemente, permitirá obter o grau de satisfação dos usuários. Tem-se também como objetivo, desenvolver uma aplicação que implemente o cenário proposto, este cenário é composto por cinco entidades como Aplicações VoIP, Ferramenta Coleta, Daemon Estatístico, Agente e Gerente. A descrição das informações que compõem a base de dados do Agente e a descrição do arquivo de configuração do Daemon Estatístico estão disponíveis nos Apêndices. O código fonte da aplicação de monitoramento é todo em código aberto e se encontra na Universidade Federal do Ceará - UFC. Outros pesquisadores da UFC estão utilizando a aplicação aqui desenvolvida para auxiliá-los no desenvolvimento de novas pesquisas em voz sobre IP.

Palavras-chave: VoIP, Qualidade, MOS, SNMP, Monitorar.

Abstract

Voice transmission through the Internet gathers users day after day for its easiness to use and cost reduction. Voice over IP or simply VoIP is a technology that allows to transmit voice packed by the IP (Internet Protocol). As it uses a IP packet network as transfer medium, it comes across with challenges concerning the call quality. This happens for the network's working approach, that is of course not adjusted to carry packets in real time. Due to this characteristic, the IP network cannot guarantee that the packets will reach their destination. Studies on the call quality in VoIP networks are very significant, as this is a crucial factor to get the user, who in turn is each time more demanding. With the growing development of new technologies, like Voice over IP, the management becomes very important to maintain the network working in a good way that may satisfy its users. This work presents a scenario based on the SNMP (Simple Network Management Protocol) management model to monitoring the behavior of these factors, such as losses and delays, that may degrade call quality and also to measure call quality in a VoIP network. Monitor the behavior of these factors, and the result of the quality of the carried through calls, will keep the network administrator periodically informed of these data and, consequently, will allow to find out the users satisfaction level. Another goal of this work is to develop an application that implements that scenario, formed by five entities: VoIP Application, Collecting Tool, Statistical Daemon, Agent and Manager. The description of the information used as database to the Agent and the Statistical Daemon configuration are available in the Appendices. The application source code is open and available at the Federal University of Ceara - UFC. Some other UFC researchers are using the presented application to help them in the development of new researches on Voice over IP.

Keywords: VoIP, Quality, MOS, SNMP, Monitor.

Sumário

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Acrônimos	xiv
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Trabalhos relacionados	4
1.3 Objetivo	5
1.4 Estrutura do Trabalho	6
2 Fundamentos de voz sobre IP	7
2.1 Introdução	7
2.2 Voz sobre IP - VoIP	7
2.3 Protocolos de sinalização	9
2.3.1 H.323	9
2.3.2 SIP	13
2.4 Protocolos de transporte	16
2.4.1 RTP	17
2.4.2 RTCP	18
2.5 Conclusão	20
3 Fatores que influenciam na qualidade da chamada em voz sobre IP	22

3.1	Introdução	22
3.2	Fatores que influenciam na qualidade da chamada em VoIP	22
3.2.1	Atraso	22
3.2.2	<i>Codecs</i> de Áudio	25
3.2.3	Perda de pacotes	27
3.2.4	<i>Buffer</i> de compensação de <i>jitter</i>	29
3.2.5	Eco	31
3.3	Métodos para avaliação da qualidade da fala	32
3.3.1	MOS	33
3.3.2	O Modelo E	34
3.4	Conclusão	43
4	Aplicação de monitoramento SNMP para análise de chamadas VoIP	45
4.1	Introdução	45
4.1.1	Cenário do monitoramento SNMP	46
4.1.2	Gerência de redes	47
4.1.2.1	Monitoramento SNMP	51
4.1.2.2	Arquitetura do monitoramento de redes	52
4.1.2.3	O Protocolo SNMP	54
4.2	Desenvolvimento da aplicação de monitoramento SNMP	59
4.2.1	Modelagem da aplicação de monitoramento SNMP	59
4.2.2	Características técnicas dos módulos da aplicação	62
4.2.2.1	Aplicações VoIP	62
4.2.2.2	Ferramentas Coleta	64
4.2.2.3	Banco de Dados - B.D.	65
4.2.2.4	<i>Daemon</i> Estatístico	66
4.2.2.5	Agente	71

4.2.2.6	Gerente	74
4.3	Conclusão	75
5	Cenário dos testes e resultados alcançados	76
5.1	Introdução	76
5.2	Cenário dos testes	76
5.3	Análise dos resultados	79
5.4	Conclusão	88
6	Conclusões	89
6.1	Considerações Finais	89
6.2	Dificuldades Encontradas	91
6.3	Trabalhos Futuros	91
	Referências	93
	Apêndice A - XML Schema da Configuração do Daemon	97
	Apêndice B - Especificação da MIB VoIPQOS	100
	Apêndice C - Produções Científicas	108

Lista de Figuras

2.1	<i>Zona H.323. Fonte: [Douskalis 2000].</i>	11
2.2	<i>Ambiente SIP. Fonte: [Douskalis 2000].</i>	15
3.1	<i>Atuação do buffer de compensação de jitter.</i>	30
3.2	<i>Eco de locutor, eco de ouvinte. Fonte: [Hersent, Guide e P.J. 2002].</i>	31
3.3	<i>Relação entre o Fator R e MOS. Fonte traduzida: [Markopoulou, Tobagi e Karam 2002].</i>	35
3.4	<i>Representação de atrasos num sistema de comunicação de voz. Fonte: [Lustosa et al. 2004, Group 2002].</i>	37
4.1	<i>Cenário do ambiente de monitoramento.</i>	46
4.2	<i>Modelo estação de gerência/agente (cliente/servidor). Fonte: [Carvalho 1999].</i>	49
4.3	<i>Árvore de objetos da SMI. Figura adaptada de: [Mauro e Kevin 2001].</i>	51
4.4	<i>Arquitetura funcional para monitoramento de redes. Fonte: [Stallings 1999].</i>	52
4.5	<i>Árvore de objetos da MIB II. Fonte: [Stallings 1999].</i>	55
4.6	<i>PDU's SNMP. Fonte: [Stallings 1999].</i>	56
4.7	<i>Notação Básica. Fonte: [Use Case Maps Virtual Library 1999].</i>	59
4.8	<i>Mudança de rotas e OR-Forks/Joins. Fonte: [Use Case Maps Virtual Library 1999].</i>	60
4.9	<i>Timer. Fonte: [Use Case Maps Virtual Library 1999].</i>	60
4.10	<i>Modelagem da aplicação de monitoramento.</i>	61
4.11	<i>Arquivo de log da Aplicação VoIP.</i>	63
4.12	<i>Tabela statisticsforeachcall.</i>	65
4.13	<i>Modelo relacional do banco de dados.</i>	66

4.14	<i>Árvore da MIB VOIPQOS.</i>	72
4.15	<i>indexTable.</i>	72
4.16	<i>statisticsTable.</i>	73
4.17	<i>periodTable.</i>	73
4.18	<i>callStatisticalTable.</i>	73
5.1	<i>Cenário utilizado para validar a aplicação de monitoramento.</i>	76
5.2	<i>Gráfico com as estatísticas de MOS das chamadas realizadas ao longo de dez dias consecutivos.</i>	80
5.3	<i>Gráfico com as percentagens de perdas e de descarte dos pacotes de voz, das chamadas realizadas ao longo de dez dias consecutivos.</i>	82
5.4	<i>Gráfico com os atrasos médios das chamadas realizadas ao longo de dez dias consecutivos.</i>	83
5.5	<i>Gráficos das chamadas realizadas no intervalo entre 48 e 72 horas. (a) MOS (b) Atraso médio (c) Pacotes descartados e perdidos.</i>	85
5.6	<i>Gráficos das chamadas realizadas no intervalo entre 72 e 96 horas. (a) MOS (b) Atraso médio (c) Pacotes descartados e perdidos.</i>	86
5.7	<i>Gráficos das chamadas realizadas no intervalo entre 192 e 216 horas. (a) MOS (b) Atraso médio (c) Pacotes descartados e perdidos.</i>	87

Lista de Tabelas

- 3.1 *Valores para formação de quadros dos codecs mais utilizados. Fonte: [ITU-T 2003]. 26*
- 3.2 *Escala de qualidade do som ouvido para testes de ACR. Fonte: [ITU-T 1996]. . . 33*

Lista de Acrônimos

ACELP	<i>Algebraic Code Excited Linear Prediction.</i>
ACF	<i>Admission ConFirm.</i>
ACR	<i>Absolute Category Rating.</i>
ADPCM	<i>Adaptative Differential Pulse Code Modulation.</i>
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line.</i>
ARQ	<i>Admission ReQuest.</i>
ARQ	<i>Automatic Repeat Request.</i>
ASN.1	<i>Abstract Syntax Notation One.</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode.</i>
BCF	<i>Bandwidth ConFirm.</i>
BRJ	<i>Bandwidth ReJect.</i>
BRQ	<i>Bandwidth ReQuest.</i>
CNAME	<i>Canonical Name.</i>
CATNAP	<i>Computer-Aided Telephone Network Assessment Program.</i>
CELP	<i>Code Excited Linear Prediction.</i>
CMOS	<i>Comparison Mean Opinion Score.</i>
CODEC	<i>COdificador/DECodificador.</i>
CS-ACELP	<i>Conjugate Structure - Algebraic Code Excited Linear Prediction.</i>
DCR	<i>Degradation Category Rating.</i>
DMOS	<i>Degradation Mean Opinion Score.</i>

DNS	<i>Domain Name System.</i>
DPCM	<i>Differential Pulse Code Modulation.</i>
E.T.S.I.	<i>European Telecommunications Standards Institute.</i>
FEC	<i>Forward Error Correction.</i>
GK	<i>Gatekeeper.</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications.</i>
GSM-EFR	<i>GSM - Enhanced Full Rate.</i>
GSM-FR	<i>GSM - Full Rate.</i>
GSM-HR	<i>GSM - Half Rate.</i>
GW	<i>Gateway.</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force.</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol.</i>
IP	<i>Internet Protocol.</i>
IPX	<i>Internetwork Packet Exchange.</i>
IANA	<i>Internet Assigned Numbers Authority.</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network.</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union.</i>
ITU-T	<i>ITU - Telecommunication Standardization Sector.</i>
LDAP	<i>Lightweight Directory Access Protocol.</i>
LD-CELP	<i>Low Delay - Code Excited Linear Prediction.</i>
LPC	<i>Linear Prediction Code.</i>
MGCP	<i>Media Gateway Control Protocol.</i>
LRQ	<i>Location ReQuest.</i>
MIB	<i>Management Information Base.</i>

MRTG	<i>Multi Router Traffic Grapher.</i>
MOS	<i>Mean Opinion Score.</i>
OID	<i>Object Identifier.</i>
OPINE	<i>Overall Performance Index model for Network Evaluation.</i>
PAMS	<i>Perceptual Analysis Measurement System.</i>
PBX	<i>Private Branch eXchange.</i>
PCM	<i>Pulse Code Modulation.</i>
PESQ	<i>Perceptual Evaluation of Speech Quality.</i>
PLC	<i>Packet Loss Concealment.</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit.</i>
PSQM	<i>Perceptual Speech Quality Measure.</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network.</i>
QoS	<i>Quality of Service.</i>
RAS	<i>Registration, Admission and Status.</i>
RFC	<i>Request for Comments.</i>
RR	<i>Receive Report.</i>
RSVP	<i>ReSource reserVation Protocol.</i>
RTCP	<i>Real-time Control Protocol.</i>
RTP	<i>Real-time Transport Protocol.</i>
RTT	<i>Round Trip Time.</i>
SIP	<i>Session Initiation Protocol.</i>
SMI	<i>Structure of Management Information.</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol.</i>
SNR	<i>Signal-to-Noise Ratio.</i>

SPX	<i>Sequenced Packet eXchange.</i>
SR	<i>Sender Report.</i>
TIPHON	<i>Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Network.</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol.</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol.</i>
URI	<i>Uniform Resource Identifier.</i>
VACM	<i>View-based Access Control Model.</i>
VAD	<i>Voice Activity Detector.</i>
VoIP	<i>Voice over IP.</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language.</i>

1 *Introdução*

1.1 *Motivação*

VoIP (Voz sobre IP) é um conjunto de tecnologias que utiliza redes IP (*Internet Protocol*) para a comunicação de voz, substituindo ou complementando os sistemas de telefonia convencionais. Rede IP é qualquer rede que faz uso da técnica de comutação de pacotes IP, e a Internet é a mais popular dessas redes.

A telefonia IP é uma modalidade de VoIP, cujo serviço fornecido apresenta funcionalidades equivalentes aos serviços telefônicos convencionais. O usuário utiliza um telefone IP ou um adaptador IP para um telefone convencional e uma conexão (IP) de banda larga para se conectar à rede de telefonia IP. Pode-se ainda acessar o serviço utilizando um computador com um programa especial (*softphone*) para esse fim.

VoIP vem conquistando seu espaço de forma acelerada. Esta disseminação se deve à redução de custo das ligações telefônicas e à demanda de acesso à rede.

Voz sobre IP é composta por um conjunto de protocolos que permitem a sinalização e o transporte em tempo real dos pacotes de voz. Os protocolos de sinalização mais populares são o SIP (*Session Initiation Protocol*), padronizado pela IETF (*Internet Engineering Task Force*) [Rosenberg et al. 2002] e o H.323, padronizado pelo ITU-T (*International Telecommunication Union - Telecom Standardization Sector*) [ITU-T 1999]. Porém, existem outros protocolos para esse fim, como por exemplo o MGCP (*Media Gateway Control Protocol*) [Arango A. Dugan 1999] e o H.248 [ITU-T 2000, ITU-T 2002]. Cada um desses protocolos contém sua própria arquitetura e conjunto de entidades que são responsáveis pela sinalização na rede.

O mecanismo de transporte de mídia para a rede IP é fornecido pelo RTP (*Real-Time Transport Protocol*) e pelo RTCP (*RTP Control Protocol*) - RFC 3550 [Schulzrinne et al. 2003]. Este último provê várias informações de controle, dentre elas, a identificação e o mapeamento dos participantes em suas fontes de fluxo individuais. O RTCP fornece

também aos participantes informações de QoS (*Quality of Service*) relativas à transmissão na rede, através da emissão de relatórios a respeito da sessão RTP em curso. O pacote de voz é encapsulado pelo RTP e transportado pelo UDP (*User Datagram Protocol*) [Postel 1980]. Maiores detalhes a respeito dos protocolos de sinalização SIP e H.323, e dos protocolos de transporte de mídia RTP/RTCP, serão apresentados no Capítulo 2.

Como a rede IP foi projetada para a entrega de pacotes em modo não-determinístico, com base no melhor esforço, voz sobre IP depara-se com alguns desafios a serem superados por ser uma tecnologia baseada em transmissão em tempo real. Os principais problemas encontrados são relacionados à qualidade do serviço, tais como: atraso fim a fim, perdas de pacotes e variação de atraso, conhecida como *jitter*. Outras questões estão relacionadas ao modo de transmissão dos pacotes, como codificação/compressão da voz e tamanho do *buffer* de compensação de *jitter*.

Para avaliar a qualidade do serviço, no caso da fala numa rede VoIP, utilizam-se de métodos subjetivos e objetivos. Ambos têm por finalidade fornecer resultados para que seja possível realizar uma medição da qualidade da fala.

Apesar de parecer um método simples, por avaliar grupos de ouvintes que irão dar uma nota de 1 a 5 para a qualidade do áudio, a pontuação MOS (*Mean Opinion Score*) é um procedimento de difícil reprodução, pois é necessário garantir que os ouvintes não tenham um conhecimento prévio das amostras de áudio. Além disso, os ouvintes têm de conhecer a metodologia do teste e as amostras de áudio têm de ser diversificadas.

Portanto, para uma medição da qualidade da fala em um ambiente VoIP, é necessário ainda que sejam avaliadas as condições da rede e dos equipamentos utilizados. Para que seja possível realizar essas avaliações, é necessária a implementação dos métodos objetivos.

O Modelo E é um método objetivo definido nas Recomendações G.107 [ITU-T 2003] e G.108 [ITU-T 1999] da ITU-T. Este modelo é obtido pelo cômputo de vários fatores de perdas associados a uma chamada VoIP, tais como, perda de pacotes, tipo de *codec*, atraso, duração dos pacotes, eco, ruídos, entre outros. O resultado do cômputo do Modelo E é o fator R, cujo valor escalar varia entre 0 e 100. Esse resultado, quando mapeado para a escala da pontuação MOS, fornece o resultado da satisfação do usuário quanto à qualidade da fala, que pode variar de não aceitável a desejável.

Mais detalhes a respeito dos fatores de degradação, métodos subjetivos e métodos objetivos utilizados para estimar e medir a qualidade da fala em voz sobre IP, serão descritos no Capítulo 3.

Outra questão a ser considerada é o gerenciamento da rede, pois quando o serviço é disponibilizado aos usuários, eles estimam tê-lo sempre apto ao uso e com boa qualidade.

O ITU-T padronizou a MIB (*Management Information Base*) H.341 [ITU-T 1999], que contém um conjunto de especificações para o gerenciamento nos sistemas multimídia baseados no H.323, ou seja, um conjunto de MIBs para gerenciamento em comunicação multimídia. Cada uma dessas MIBs contém um conjunto de objetos responsáveis por retornar alguma informação relevante ao módulo H.323 implementado, como por exemplo, a MIB Terminal, que reúne objetos que apresentam características de terminais H.323. Os terminais H.323 são dispositivos que permitem realizar chamadas VoIP num ambiente H.323. Detalhes a respeito do H.323 será apresentado no Capítulo 2.

Os vários grupos de trabalho do IETF também definem uma série de MIBs específicas para o gerenciamento de equipamentos, protocolos, serviços e aplicações. MIBs desenvolvidas por fabricantes dos equipamentos utilizados em redes VoIP podem atender às necessidades não previstas nas MIBs definidas pelo IETF.

Como se pode observar, existem diversas linhas para se pesquisar a respeito de voz sobre IP, dentre as quais podem ser citados os estudos referentes à qualidade das chamadas, interoperação dos protocolos de sinalização em um mesmo ambiente, gerenciamento do serviço e segurança da mídia.

Em 2003 e 2004, a RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa) promoveu dois GT (Grupo de Trabalho) em voz sobre IP, denominados GT-VoIP e GT-VoIP Avançado, respectivamente. Ambos os grupos foram coordenados pelo prof. Paulo Henrique de Aguiar Rodrigues (UFRJ), tendo como participantes várias IFES (Instituições Federais de Ensino Superior) como UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), UFC (Universidade Federal do Ceará), UFAM (Universidade Federal do Amazonas), UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), UFPE (Universidade Federal de Pernambuco), UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), entre outras.

O GT-VoIP proporcionou diversas pesquisas a respeito da qualidade da fala, interoperação dos protocolos de sinalização SIP e H.323 no mesmo ambiente, gerência do serviço, monitoramento das chamadas e integração de telefonia IP ao ambiente.

Na Seção 1.2, são apresentados alguns trabalhos relacionados a esta dissertação.

1.2 Trabalhos relacionados

No trabalho realizado na UFRJ [Peixoto 2003] apresentou-se o levantamento de um ambiente de gerência, analisando as possíveis MIBs a serem implementadas nos equipamentos utilizados. Também foi descrito um modo de operação de tarifação e ainda uma proposta de ferramenta de gerência para redes VoIP. Com base nesse estudo, percebe-se a necessidade de desenvolver uma MIB específica para monitorar a qualidade das chamadas em voz sobre IP, pois as apresentadas no referido trabalho não atendem de forma satisfatória os requisitos para o monitoramento aqui proposto. Pois os dados a serem monitoradas na presente dissertação, fazem parte das informações fornecidas pelo protocolo RTP, que serão obtidas dos *logs* das aplicação VoIP (*softphones*) utilizadas no ambiente de monitoramento aqui proposto.

Outro trabalho desenvolvido na UFRJ [David 2003] apresentou algumas ferramentas de geração, monitoramento e coleta estatística para verificação do nível de qualidade de ligações VoIP. Foi implementada uma ferramenta *Web* que retorna resultados estatísticos a partir de dados de qualidade (atraso, perda e *jitter*) em um ambiente simulado, com voz sendo gerada a partir de um arquivo gravado. Esta solução não retorna informações estatísticas de ligações reais devido ao ambiente de simulação utilizado.

Um recente trabalho realizado também na UFRJ é a implementação de uma arquitetura de monitoramento de qualidade das chamadas telefônicas IP [Lustosa et al. 2005]. Este trabalho se baseia no desenvolvimento de uma biblioteca denominada *VQuality*, que implementa uma medição objetiva calculada pelo Modelo E e por suas extensões. Esta biblioteca incorpora ainda a geração de CDR (*Call Detail Record*) próprio com suporte ao envio de dados referentes à variação da qualidade ao longo da chamada, além de um mecanismo para a coleta do CDR via RADIUS (*Remote Authentication Dial-In User Service*). Este trabalho, assim como os demais citados, não fazem uso de um protocolo de gerência de redes específico para realizar o monitoramento.

A Universidade Federal do Amazonas - UFAM, por sua vez, mantém um grupo de pesquisadores dedicados a desenvolver aplicações para VoIP, com ênfase na qualidade da fala e segurança. Uma das contribuições do grupo foi a implementação de uma ferramenta de medição de qualidade da fala baseada no Modelo E estendido, a qual foi desenvolvida por Carvalho [Carvalho 2004] em sua dissertação de mestrado. Esta ferramenta permite obter informações, como perda de pacotes, atraso (*delay*) e avaliar a qualidade da fala por meio do Modelo E estendido e revisado. A presente dissertação desenvolveu um dos

módulos da aplicação de monitoramento com base nessa ferramenta.

Um artigo produzido em *Taiwan* [Huang, Chao e Liu 2001] apresenta um *framework* para um gerenciamento distribuído baseado no H.323 para sistemas VoIP. Agentes distribuídos pela rede simulam chamadas periodicamente e disponibilizam, via SNMP (*Simple Network Management Protocol*), informações de perdas de pacotes, atraso e *jitter*.

Embora existam alguns trabalhos publicados a respeito de monitoramento e avaliação da qualidade da fala em VoIP usando o SNMP, em nenhum dos trabalhos citados, foi apresentado o desenvolvimento de uma aplicação de monitoramento com base no protocolo SNMP, que monitore os fatores de degradação e resultado de percepção da qualidade da chamadas em voz sobre IP. Este é o objetivo da presente dissertação, cuja pesquisa foi realizada no PoP-CE (Ponto de Presença da RNP no Ceará) situado na UFC.

1.3 Objetivo

O cenário do monitoramento proposto nessa dissertação, foi desenvolvido com base no protocolo SNMP de gerência de redes, padronizado pela RFC 1157 [Case et al. 1990]. Esse protocolo faz uso da comunicação cliente/servidor. As principais entidades dessa comunicação são denominadas de gerente, agente e base de dados. O gerente realiza solicitações ao agente e este, por sua vez, responde às solicitações do gerente. As informações a serem gerenciadas compõem a base de dados, denominada MIB (*Management Information Base*).

Embora o gerente, o agente e a base de dados sejam entidades essenciais em um monitoramento SNMP, existem outras entidades que irão compor o cenário proposto, como: a aplicação VoIP, que é o programa que realizará as chamadas numa rede de voz sobre IP; uma ferramenta de coleta, cuja função é extrair da aplicação algumas das informações a serem monitoradas; um módulo que irá realizar cálculos estatísticos e de medidas sobre as informações extraídas; e por fim, um repositório que irá armazenar as informações à serem monitoradas e acessadas pelo agente.

A aplicação de monitoramento proposta, tem como principal objetivo auxiliar um administrador de uma rede VoIP na análise da qualidade das chamadas realizadas em determinados períodos. Essa análise será realizada por meio de informações estatísticas e de medidas, calculadas sobre um indicador de qualidade da fala e dos fatores que degradam os valores desse indicador.

1.4 Estrutura do Trabalho

A presente dissertação está organizada em seis capítulos e três apêndices. O primeiro capítulo é a Introdução.

No segundo capítulo, **Fundamentos de voz sobre IP**, são abordados os conceitos básicos e os principais protocolos que compõem a voz sobre IP.

No terceiro capítulo, **Fatores que influenciam na qualidade da chamada em voz sobre IP**, serão descritos os principais fatores que influenciam na qualidade das chamadas em voz sobre IP.

No quarto capítulo, **Aplicação de monitoramento SNMP para análise de chamadas VoIP**, é apresentado um cenário da aplicação proposta neste trabalho e a descrição do desenvolvimento de cada um dos módulos que compõem esse cenário. Também são abordados conceitos de gerência de redes SNMP, com ênfase em monitoramento.

No quinto capítulo, **Cenário dos testes e resultados alcançados**, serão apresentados o cenário dos testes e as análises dos resultados obtidos por meio de gráficos.

No sexto capítulo, **Conclusões**, são descritas as conclusões desta dissertação, as dificuldades encontradas e as sugestões para os trabalhos futuros.

2 *Fundamentos de voz sobre IP*

2.1 Introdução

A Internet é um conjunto de redes IP, as quais permitem que as informações compartilhem o mesmo canal de transmissão. Inicialmente, essa rede transportava apenas pacotes de dados. Com o desenvolvimento de pesquisas voltadas para os serviços multimídia, atualmente a Internet proporciona o tráfego tanto de pacotes de dados como pacotes com informações de voz e vídeo, tornando-se assim um meio convergente e viável, pois o usuário poderá usufruir da tecnologia multimídia com a mesma infra-estrutura antes utilizada apenas para transporte de dados.

Voz sobre IP é uma aplicação que utiliza a rede IP para transportar voz da origem ao destino na comunicação. Para compreender o funcionamento dessa tecnologia é necessário fazer um estudo para esclarecer como essa rede trata os pacotes de voz e como os protocolos de sinalização e os protocolos de transporte agem sobre essas informações. No presente capítulo, é apresentada uma introdução à VoIP e seus principais protocolos.

2.2 Voz sobre IP - VoIP

VoIP é uma aplicação na qual há transmissão de pacotes de voz através de uma rede IP, permitindo realizar videoconferências, audioconferências e conversas telefônicas via computador ligado à rede IP. A telefonia IP é a voz sobre IP com adição dos serviços da telefonia, como chamada em espera, secretária eletrônica, desvio de chamada, entre outras [Balbinot et al. 2003].

A voz sobre IP se torna atraente pelo custo reduzido das chamadas telefônicas, nos casos em que existe a tarifação das chamadas. Um outro atrativo é o uso do telefone virtual quando o ambiente não dispõe de um telefone real. Denomina-se telefone virtual um *softphone*, programa que simula um telefone e realiza chamadas telefônicas via rede

IP, o qual, encontra-se instalado em um computador. Já o telefone real é o aparelho telefônico utilizado para chamadas telefônicas da rede pública de telefonia comutada - PSTN (*Public Switched Telephone Network*).

Com um computador conectado a uma rede IP, um microfone ou *headset* e um *soft-phone* instalados, o usuário poderá fazer uso de VoIP para realizar chamadas IP, tanto para outro computador com as mesmas configurações citadas ou ainda fazer uma chamada para um telefone da rede pública de telefonia comutada. No caso da comunicação entre a rede IP e a rede pública de telefonia comutada, se faz necessário o uso de um *gateway*, o qual fará a interoperação entre as duas redes, pois ambas as redes, possuem protocolos distintos e conseqüentemente trabalham de modo diferenciado uma da outra.

Quando a chamada é originada ou finalizada entre redes IP, não existe um custo financeiro adicional de tarifa telefônica, já que a chamada é realizada somente entre as redes IP. No entanto, quando a chamada é originada ou finalizada entre uma rede IP e a rede pública de telefonia comutada, o custo da ligação é local.

Assim como na PSTN, as redes IP também contam com um conjunto de protocolos responsáveis pela sinalização e transporte dos pacotes de voz. Alguns protocolos responsáveis pela sinalização das chamadas VoIP foram padronizados pelo ITU-T (*International Telecommunication Union - Telecom Standardization Sector*) e IETF (*Internet Engineering Task Force*). O ITU-T padronizou o H.323 [ITU-T 1999] e o H.248 [ITU-T 2000, ITU-T 2002] e um grupo da IETF foi responsável pela padronização do SIP (*Session Initiation Protocol*) [Rosenberg et al. 2002]. Cada um desses protocolos contém sua própria arquitetura e conjunto de entidades que são responsáveis pela sinalização na rede.

Os protocolos de sinalização são responsáveis por toda a comunicação de estabelecimento (início), controle e encerramento (término) das chamadas. Já os protocolos de transporte são responsáveis por transportar a mídia de voz da origem ao destino, e esse transporte independe da sinalização utilizada.

O H.323 é um dos primeiros padrões especificados para uso em VoIP, o que o torna um protocolo comum de ser encontrado nos equipamentos. Atualmente, o SIP está entre os protocolos de sinalização mais pesquisados, porém, nem todos os equipamentos implementam esse padrão, fazendo com que os fabricantes passem a dar uma atenção especial a ele. O grande fato a favor do SIP é que ele tem funções características próprias da Internet por ter sido padronizado pelo IETF, o que facilita a interoperabilidade com os serviços dessa rede IP.

Apesar do H.323 e o SIP serem os protocolos de sinalização mais utilizados, no presente texto o H.323 será abordado em mais detalhes, pois o ambiente utilizado para o desenvolvimento da arquitetura de monitoramento proposta nessa dissertação utilizou este protocolo. No entanto, o uso do SIP também seria possível, pois as informações a serem monitoradas são obtidas do protocolo de transporte de mídia RTP [Schulzrinne et al. 2003], o que torna a aplicação de monitoramento proposta independente do protocolo de sinalização escolhido.

Nas próximas seções são apresentadas as funcionalidades e entidades envolvidas na sinalização e no transporte de voz sobre IP.

2.3 Protocolos de sinalização

2.3.1 H.323

O padrão H.323 provê uma base para comunicação de dados, vídeo e áudio através de redes de pacotes comutados. O H.323 é uma recomendação da ITU-T que agrupa padrões para comunicação multimídia sobre redes que não provêm qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*) [Lima et al. 2005].

O trabalho com o H.323v1 começou em maio de 1995, sendo que essa versão foi aprovada em junho de 1996. A versão 2 foi aprovada em fevereiro de 1998 com três anexos: mensagens H.245 usadas pelos pontos finais H.323; procedimentos para *codecs* de vídeo em camadas; H.323 sobre ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). A versão 3 foi aprovada em setembro de 1999, trazendo três novos anexos: comunicação entre domínios administrativos diversos com o H.225; um novo mecanismo de sinalização de chamadas com base no protocolo UDP (*User Datagram Protocol*); a especificação de um subconjunto do H.323 possível de ser implementado em dispositivos de pequeno porte. O trabalho com o H.323v4 foi concluído em novembro de 2000, trazendo melhorias em aspectos de confiabilidade, escalabilidade e flexibilidade [Hersent, Guide e P.J. 2002].

Essas três últimas características citadas permitem que o H.323 seja um padrão de grande uso nas redes VoIP. Na prática, o uso deste protocolo ocorre devido à vasta disponibilidade dos produtos H.323 no mercado, ao maior número e estabilidade de implementações, ao foco na integração com a rede de telefonia e às facilidades associadas ao gerenciamento do serviço e das chamadas [Peixoto 2003].

O H.323 é uma especificação “guarda-chuva” que descreve de modo completo a ar-

quietura e a operação de um sistema de videoconferência sobre uma rede de pacotes. Este padrão não é específico para as redes IP. Há seções no uso do H.323 sobre IPX/SPX (*Internetwork Packet Exchange/Sequenced Packet Exchange*) ou ATM. O H.323 por si só apenas provê a concepção de sistema e a forma como os sistemas de comunicação multimídia devem trabalhar [Balbinot et al. 2003].

O ITU-T define uma série de recomendações que dão suporte ao H.323. Tais recomendações são:

- H.225.0: define os protocolos RAS (*Registration, Admission and Status*) e Q.931 para sinalização de chamadas e empacotamento de fluxo de mídia nos sistemas de comunicação multimídia baseados em pacotes;
- H.235: define como o protocolo trata da segurança e criptografia nos terminais multimídia da série H;
- H.245: define o protocolo responsável pelo controle de mídia;
- H.350.x: define o protocolo que trata dos serviços de diretórios para conferências multimídia;
- H.450.x: define o padrão para serviços suplementares do H.323 como, por exemplo, provê informações de redirecionamento de destino de uma chamada;
- Série T.120: define os protocolos de dados para conferência multimídia.

O H.323 também incorpora vários formatos à mídia transmitida em fluxos específicos:

- Áudio: G.711, G.722, G.723.1, G.729, GSM, ISO/IEC 11172-3;
- Vídeo: H.261, H.262, H.263;
- Dados: série de recomendações T.120.

O padrão especifica um sistema composto por *Gateway*, *Gatekeeper*, *Terminal* e opcionalmente a *MCU* (Unidade de Controle Multiponto). Na Figura 2.1 é ilustrado um ambiente H.323, mais conhecido como Zona H.323.

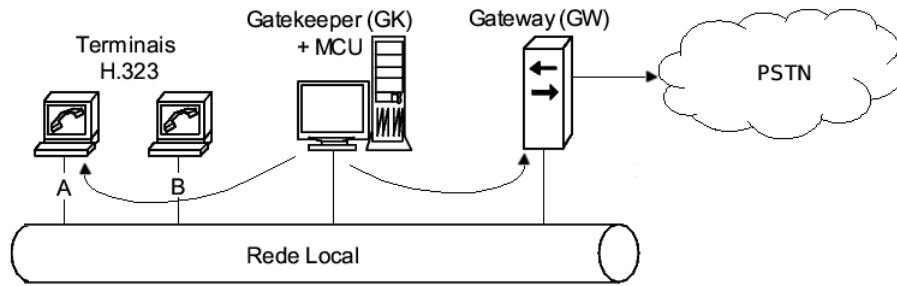


Figura 2.1: Zona H.323. Fonte: [Douskalis 2000].

Gateway

O *Gateway* faz a interconexão entre as redes H.323 e as redes que não utilizam este protocolo, como exemplo, uma rede VoIP que faz uso de outro protocolo de sinalização ou uma rede de telefonia comutada.

Este dispositivo realiza funções como a tradução da sinalização utilizada para o estabelecimento e término de chamadas e a conversão do formato da mídia de uma rede para outra. Na rede H.323, o *gateway* implementa os protocolos H.225.0 para a sinalização da chamada, o H.245 para a sinalização de canais de mídia e RTP/RTCP (*Real-time Transport Protocol/Real-time Control Transport Protocol*) para a transmissão da mídia. Essas chamadas são realizadas com outros *gateways* - GW, terminais ou MCUs.

Para que as redes VoIP se comuniquem com a PSTN, os *gateways* são configurados com portas de voz para conexão ao PBX (*Private Branch Exchange*) e a comutadores de telefonia. O uso de dois ou mais *gateways* permite a realização de chamadas entre ramais de PBX diferentes, utilizando-se a rede IP como transporte, em substituição à rede de telefonia comutada.

O *gateway* deve ter informações suficientes do plano de numeração em uso na rede VoIP, para que possa encaminhar as chamadas com base no número E.164 (padrão ITU-T que define a numeração empregada em redes públicas de telefonia) discado pelo usuário que iniciou a chamada. As chamadas recebidas são encaminhadas de acordo com o número E.164 recebido através da sinalização da chamada (*setup* H.225.0) no caso da VoIP, ou do endereço E.164 discado, no caso de telefonia.

As chamadas podem ser destinadas a telefones tradicionais ou a dispositivos H.323; o *gateway* deve saber como encaminhá-las.

Gatekeeper

Entidade H.323, responsável por manter o registro dos clientes capaz de encontrar um cliente registrado em outro *gatekeeper*, e podendo fazer uso de serviços de diretórios LDAP (*Lightweight Directory Access Protocol*). Embora não seja obrigatória a presença de um *gatekeeper* ou GK, quando ele é existente se torna um elemento importante na arquitetura H.323, pois o GK tem as funções de iniciar ou receber chamadas entre os dispositivos a ele conectados (terminais e *gateway*).

O ambiente H.323 utiliza o conceito de “zona”, que compreende um GK e todos os dispositivos H.323 que este controla. O *gatekeeper* deve prover a todos os dispositivos registrados os serviços de controle de admissão (*admission control*), tradução de endereços (*address translation*) e controle de largura de banda (*bandwidth control*). Qualquer chamada realizada a partir de terminais e *gateways* deve ser autorizada pelo GK por meio de mensagens H.225.0 RAS.

O *gatekeeper* pode manter uma lista das chamadas ativas, de modo que os terminais ocupados possam ser identificados, possibilitando prover as informações necessárias ao gerenciamento da largura de banda com as mensagens RAS: BRQ (*Bandwidth ReQuest*), BCF (*Bandwidth ConFirm*) e BRJ (*Bandwidth ReJect*).

Quando o destino da chamada é um dispositivo de outra “zona”, o GK remoto deve ser localizado para que possam ser obtidas informações sobre este dispositivo. Dois métodos podem ser utilizados com este objetivo: para apelidos tipo H.323 ID, deve ser utilizado o serviço DNS (*Domain Name System*) e para endereços E.164, a mensagem RAS: LRQ (*Location ReQuest*) [Hersent, Guide e P.J. 2002, Peixoto 2003].

Após a troca de mensagens RAS: ARQ (*Admission ReQuest*) e ACF (*Admission ConFirm*) por parte do terminal que origina a chamada e por parte do *gatekeeper*, respectivamente, a sinalização de chamadas (Q.931), o controle de canais de mídia (H.245) e os próprios canais de mídia (RTP/RTCP) são normalmente estabelecidos diretamente entre as partes comunicantes (originador da chamada e receptor da chamada).

Terminal

É o cliente da arquitetura ou ponto final da comunicação. O terminal H.323 equivale a um telefone incrementado com uma série de funcionalidades, apresentando obrigatoriamente recursos para a transmissão de áudio e, opcionalmente podendo incluir recursos para a transmissão de vídeo e o compartilhamento de dados. Um terminal poderá ser um computador com um *softphone* instalado, um telefone IP ou um telefone da rede pública

comutada.

Os terminais são configurados com uma interface de rede e são operados diretamente pelo usuário. Todos os terminais precisam implementar o protocolo H.225.0, que define um conjunto de mensagens para a sinalização das chamadas (Q.931) e para a comunicação com o *gatekeeper* (RAS). A sinalização é utilizada para o estabelecimento (*setup*), término (*teardown*) e controle de chamadas. Outro protocolo necessário é o H.245, utilizado na sinalização dos canais de mídia, onde são negociadas as capacidades suportadas pelos dois dispositivos H.323 e iniciados os canais lógicos por onde serão transmitidos os fluxos de mídia. O terminal deve dar suporte ainda aos protocolos RTP e RTCP utilizados para a transmissão da mídia e para o monitoramento da qualidade da chamada, respectivamente.

Unidade de Controle Multiponto - MCU

Com função de controle para dar suporte a conferências entre três ou mais pontos terminais em uma conferência multiponto, o MCU consiste de um MC (Controlador Multiponto) e de zero ou mais MPs (Processadores Multiponto).

O MC manipula a negociação H.245 com todos os dispositivos que participam de uma conferência, identificando as capacidades de áudio e vídeo comum a todos, determinando assim o modo de comunicação a ser adotado. O protocolo H.245 é utilizado ainda para verificar se os dispositivos envolvidos suportam comunicação *multicast*.

Cada conferência estabelecida é associada somente a um MC. Cada dispositivo H.323 estabelece uma sessão bidirecional com o MC. O MP é responsável por converter a mídia para diferentes formatos, por exemplo, de G.711 para G.723.1, ou por combinar o áudio proveniente de várias fontes, transmitindo o fluxo combinado para todos os dispositivos [Hersent, Guide e P.J. 2002].

2.3.2 SIP

É um protocolo ao nível de aplicação que estabelece, modifica e termina sessões multimídia e/ou ligações. Estas sessões podem ser conferências multimídia, aulas e telefonia sobre a rede IP. A rede SIP *Session Initiation Protocol* pode ser acessada via Internet usando um URI - (*Uniform Resource Identifier*), que é uma *string* compacta para endereçar os recursos físicos ou abstratos dentro da rede. Exemplos de endereçamentos SIP são *alias*, como a URI **sip://usuário@servidor** ou podem ser um número de telefone, como **tel://1112222@gw.ufc.br**.

A parte *host* na identificação URI pode ser um domínio Internet alfanumérico válido ou

endereço IP válido [Ribeiro, Rodrigues e Marcondes 2001].

O SIP funciona numa arquitetura cliente/Servidor, e suas operações envolvem apenas métodos de requisição e respostas. Os métodos de requisição do SIP são [Douskalis 2000, Hersent, Guide e P.J. 2002, Ribeiro, Rodrigues e Marcondes 2001]:

- INVITE: esse pedido é usado para iniciar uma chamada;
- ACK: esse pedido é enviado pelo cliente para confirmar que ele recebeu uma resposta final do servidor, como por exemplo: 200 OK;
- OPTIONS: um cliente envia um pedido Options ao servidor para saber suas capacidades. O servidor, por sua vez, envia de volta uma lista com os métodos que ele suporta;
- BYE: esse pedido é enviado pelo agente de origem ou pelo agente de destino para interromper uma chamada;
- CANCEL: esse pedido pode ser enviado para interromper um pedido que foi enviado anteriormente enquanto o servidor ainda não tiver enviado uma resposta final;
- REGISTER: clientes podem registrar sua localização atual (um ou mais endereços) com esse pedido. Um servidor SIP que aceita mensagem *Register* é denominado *Registrar*.

Para localização, são usadas bases locais ou servidores LDAP, onde é possível montar diretórios de usuários e seus perfis. A cada requisição ou resposta, há um grupo de cabeçalhos, divididos em cabeçalhos gerais, com informações importantes a respeito da chamada, cabeçalhos de entidade com meta-informação sobre o corpo da mensagem, e os cabeçalhos específicos, que permitem passar informações adicionais, que não couberam na linha de *status* da requisição ou da resposta.

Quando requisições são atendidas, as respostas enviadas são identificadas por números, que significam a classe da resposta. As respostas estão classificadas em seis categorias: classe 1xx - Informativas, classe 2xx - Sucesso, classe 3xx - Redirecionamento, classe 4xx - Erros de cliente, classe 5xx - Erros de servidor e por fim classe 6xx - Falhas globais. Para mais detalhes a respeito dessas classes de respostas, consulte [Douskalis 2000, Hersent, Guide e P.J. 2002].

O ambiente SIP é composto por duas entidades físicas: cliente e servidor. O cliente é conhecido como *User Agent*, já o servidor possui funções distintas: *proxy*, redirecionador de chamadas e registrador de informações de usuários.

Caso um usuário da rede VoIP necessite se comunicar com outro usuário que esteja numa rede com sinalização distinta ao SIP como, por exemplo, a rede de telefonia pública comutada ou até com uma rede H.323, a comunicação será possível com a adição de um *gateway*, cuja função é permitir a interoperação de redes com protocolos distintos, e de modo transparente para o usuário. As funções do *gateway* no ambiente SIP são análogas às que foram apresentadas na Zona H.323.

Existe uma aplicação *gateway* denominada *Asterisk*, que além de permitir a interoperação entre uma rede IP com uso do SIP e a rede pública de telefonia pública comutada, ainda desempenha o papel de um PBX virtual, e desse modo, realiza várias funções da telefonia como chamada em espera, redirecionamento de chamadas, conferência e outras.

Na Figura 2.2 é apresentado um cenário de um ambiente SIP.

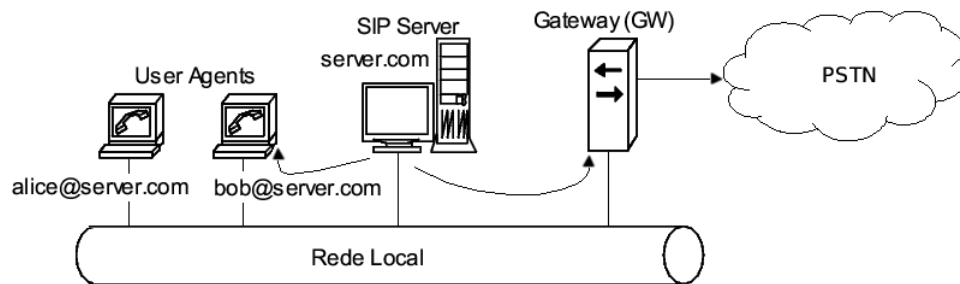


Figura 2.2: Ambiente SIP. Fonte: [Douskalis 2000].

A comunicação entre cliente e servidor é realizada através de URI. No exemplo da figura, têm-se dois clientes: **alice@server.com** e **bob@server.com** se comunicando com o servidor **server.com**

As funções contidas num ambiente SIP serão detalhadas nos itens a seguir.

User Agent

Cliente da arquitetura ou ponto final da comunicação. Análogo ao terminal H.323.

Proxy Server

Servidor de redirecionamento de requisições e respostas SIP. O *proxy server* passa a realizar a sinalização como se fosse o originador da chamada e, quando uma resposta é enviada a ele, esta é redirecionada para o originador real como um cliente. Um *proxy* pode passar adiante um pedido sem nenhuma mudança para seu destino final ou pode

mudar alguns parâmetros antes de passar o pedido. Ele pode até mesmo decidir enviar uma resposta gerada localmente.

Um pedido de uma origem para um destino pode ser roteado por mais de um *proxy*, pois o terminal chamado poderá estar em outra rede que também terá o seu *proxy* local.

Registrar

Servidor SIP que suporta requisições *Register*, usadas para registrar as informações dos usuários em algum servidor de localização. Os *registrars* são necessários para manter a informação de localização atual de um usuário. O endereço IP de um usuário pode mudar sob algumas circunstâncias como, por exemplo, uma conexão por meio de um provedor de acesso à Internet, o qual envia para o cliente um endereço IP dinâmico ou uma LAN, que fornece endereços via protocolo DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*).

Para manter o registro, um terminal precisa enviar mensagens de atualização periodicamente. Se o terminal (ou usuário) se move e deseja modificar os parâmetros do registro, ele pode cancelar um registro existente e enviar um novo registro [Douskalis 2000, Hersent, Guide e P.J. 2002, Rosenberg et al. 2002].

Redirect Server

Este servidor SIP redireciona requisições e respostas, enviando uma mensagem para os clientes com o novo endereço SIP procurado, mas não faz o papel de continuar a chamada, como no caso do *proxy server*. Um servidor de redirecionamento responde a um pedido INVITE com uma resposta 3xx (redirecionamento). Pode ser usado em conjunto com um registrar, redirecionando chamadas para a localização atual do originador da chamada [Ribeiro, Rodrigues e Marcondes 2001].

2.4 Protocolos de transporte

Para a transmissão de dados sensíveis ao atraso e a perdas de pacotes numa rede IP, são utilizados os protocolos RTP (*Real-Time Transport Protocol*) e RTCP (*Real-Time Transport Control Protocol*) [Schulzrinne et al. 2003]. A função do RTP é agir como uma interface entre aplicações em tempo real e os protocolos da camada de transporte TCP (*Transmission Control Protocol*) [DARPA 1981] e UDP (*User Datagram Protocol*) [Postel 1980].

O TCP é o protocolo de transporte mais usado na Internet. Entretanto, existem alguns fatores que fazem com que o TCP não seja adequado para aplicações de tempo

real. Esse protocolo foi construído para permitir retransmissão de pacotes perdidos (segmentos no contexto do TCP). Como num fluxo de tempo real a perda de alguns pacotes não causa um impacto relevante na comunicação, seria um problema a retransmissão de pacotes perdidos. O TCP também não suporta *multicast*, por ser um protocolo orientado à conexão. E por fim, ele não fornece informações de tempo importantes para aplicações como voz e vídeo.

O UDP é outro protocolo de transporte amplamente utilizado, não possuindo qualquer informação de tempo e de número de seqüência. É um protocolo de arquitetura de funcionamento simples, disponibiliza os serviços de multiplexação (através do conceito de portas), correção de erros (através de *checksum*) e não é orientado à conexão. Sendo assim, o UDP não introduz atraso no estabelecimento da conexão, diferentemente do TCP, que usa uma apresentação de três mensagens (*three-way handshake*) antes de começar a transferir os dados.

Em VoIP, os pacotes de mídia são transportados pelos protocolos RTP/RTCP/UDP, pois o UDP gera menos *overhead* na comunicação.

Mais detalhes a respeito do RTP e RTCP serão abordados nas duas próximas seções.

2.4.1 RTP

O RTP é um protocolo de transporte de mídia em aplicações de tempo real, e que tem a função de prover o transporte fim a fim para essas aplicações.

O RTP implementa funções que permitem que os protocolos de transporte trabalhem em um ambiente em tempo real. Como esse protocolo não fornece qualquer tipo de reserva de recursos, ele não garante a qualidade do serviço. Essa característica é de responsabilidade do RSVP (*ReSource reserVation Protocol*) com base nos serviços diferenciados (*DiffServ*) e nos serviços integrados (*IntServ*).

Um modo de tentar garantir QoS na rede para o uso da VoIP é priorizar os pacotes de voz com marcação de alta precedência e a configuração de algoritmo de filas, por exemplo, o PQ (*Priority Queuing*) nos roteadores.

O RTP carrega informações de tempo, número de seqüência, descrição de dados e identificação global. Esse protocolo não utiliza qualquer mecanismo de entrega confiável, ou seja, a entrega de dados sem erro, na ordem certa ou com atraso constante. Quem provê esses serviços são os protocolos das camadas inferiores, os quais, encapsulam os

dados RTP [Douskalis 2000].

Este protocolo foi primeiramente desenvolvido para a utilização em conferências multimídia com muitos participantes, porém outras aplicações são possíveis. O RTP opera tanto em redes *multicast* como em redes *unicast*. Para utilização em redes *multicast* é necessário que haja suporte do *backbone* para esse “serviço”.

O RTP é tradicionalmente associado a uma porta UDP de número par e o RTCP à próxima porta UDP de número ímpar. Essas portas são negociadas dinamicamente pelos protocolos de sinalização durante o processo de estabelecimento de chamada [Hersent, Guide e P.J. 2002, David 2003].

2.4.2 RTCP

O RTCP (*Real-Time Control Protocol*) foi também especificado na RFC3550 para ser um protocolo de controle que auxilie o RTP na sua tarefa de transmissão de dados em tempo real. Considerado parte integrante do protocolo RTP, o RTCP complementa a sua funcionalidade, permitindo ao transmissor receber relatórios dos receptores de como os dados estão sendo recebidos. No caso específico de VoIP, sua função é informar ao transmissor como a conexão está sendo vista pelo receptor em termos de qualidade.

Porém, o RTCP possui outras aplicações como a troca de informações de usuários, e o mais importante, a associação de mídias provenientes de diferentes sessões. Um pacote RTCP é um pacote de controle consistindo de um cabeçalho fixo seguido por elementos estruturados variando de acordo com o tipo de pacote RTCP.

Esse protocolo é baseado na transmissão periódica de pacotes de controle para todos os participantes numa sessão, usando os mesmos mecanismos de comunicação utilizados para os dados. O protocolo da camada inferior (UDP) deve fornecer multiplexação dos dados e dos pacotes de controle, usando por exemplo, número de portas separadas.

O RTCP realiza três importantes funções:

- Fornece *feedback* sobre a qualidade da transmissão dos dados, estando relacionado ao controle de fluxo e congestionamento normalmente ligado aos protocolos de transporte;
- Os pacotes RTCP carregam uma identificação persistente ao nível de transporte para uma fonte RTP chamada de CNAME (*Canonical NAME*). Enquanto o SSRC

(Identificador de fonte de sincronização) pode mudar, por conflitos e/ou reinício da aplicação, por exemplo, o CNAME deve ser o mesmo enquanto durar a sessão;

- A terceira função é opcional. O RTCP pode ser usado para uma cobertura mínima de uma sessão, fornecendo informações como identificação dos participantes, por exemplo. Essa função seria útil numa conferência onde não existiria o controle de entrada/saída de participantes.

Pacotes RTCP

O RTCP especifica cinco tipos de pacotes, cada um para um tipo de informação:

- SR (*Sender Report*): para estatísticas de transmissão e recepção. Provenientes dos participantes que são emissores ativos;
- RR (*Receiver Report*): para estatísticas de recepção de participantes que não são emissores ativos;
- SDES (*Source Description*): são pacotes compostos de um cabeçalho e zero ou mais blocos, em que cada bloco é preenchido por itens que o definem. Para tanto, cada bloco possui um identificador SSRC, e itens de descrição, incluindo o CNAME;
- BYE: indica o fim da sessão;
- APP: funções específicas das aplicações.

Diferentes tipos de pacotes RTCP podem ser encapsulados em um mesmo pacote UDP, criando um pacote RTCP composto. Desta forma, há uma redução do *overhead* causado pela inserção dos cabeçalhos do protocolo de transporte.

O protocolo de transporte pode transmitir um ou mais pacotes RTCP. Nesse caso, não há um mecanismo explícito para saber quantos pacotes RTCP existem.

Essa função é esperada dos protocolos da camada inferior (camada de rede), que provêem um mecanismo de delimitação do tamanho do pacote. Nesse pacote composto, cada pacote RTCP deve ser processado independentemente da ordem ou combinação dos pacotes. Se o tamanho do pacote composto exceder a unidade máxima de transmissão de uma determinada rede, ele deve ser fragmentado em pacotes compostos menores que serão transmitidos através da camada de rede. É importante mencionar que, após a fragmentação, cada pacote RTCP composto deve começar com um pacote SR *Sender Report* ou RR *Receiver Report*.

Pacotes *Sender Report* fornecem *feedback* da qualidade da conferência em andamento, referindo-se à sessão particular a que esses pacotes estão relacionados. Um pacote SR é transmitido se uma aplicação tem enviado dados RTP durante o intervalo desde o envio do último pacote de relatório (emissor ativo); caso contrário, o RR é enviado.

Transmissão de pacotes RTCP

Todos os participantes enviam pacotes RTCP, haja vista que o número de participantes é conhecido por todos. Dessa forma, cada participante pode controlar a taxa de envio desses pacotes. De uma certa maneira, quanto mais pacotes RTCP forem enviados, melhor será a obtenção de dados estatísticos, porém, maior é o consumo da banda da sessão. Para tanto, é esperado que, no máximo, 5% da banda da sessão seja destinada à transmissão de pacotes RTCP [Hersent, Guide e P.J. 2002, Kurose e Ross 2003].

O RTP estipula que os transmissores ativos fiquem com um quarto da reserva, pois algumas informações enviadas como, por exemplo, o CNAME para a sincronização, são muito importantes para todos os receptores e os SR necessitam ser ágeis. A parte restante é dividida entre os receptores [Hersent, Guide e P.J. 2002].

Tipicamente, múltiplos pacotes RTCP são enviados juntos como um só pacote RTCP composto, dentro de um único pacote da camada inferior (geralmente UDP). A contagem do número de pacotes RTCP deve ser feita pelo protocolo de transporte empregado.

Cada pacote RTCP individual, proveniente de um pacote composto, deve poder ser processado independentemente, sem considerações sobre a ordem em que eles são recebidos. Entretanto, para aumentar a eficiência do processamento desses pacotes, algumas restrições devem ser seguidas:

- Todo pacote RTCP composto deve conter um pacote de relatório;
- Para que novos participantes comecem a associar as mídias recebidas, as informações de CNAME dos outros participantes devem ser enviadas constantemente. Assim, todo pacote RTCP composto deve conter um pacote SDES com o item CNAME.

2.5 Conclusão

No presente capítulo foi apresentada a tecnologia VoIP, foram descritos dois dos mais utilizados protocolos de sinalização: H.323 e SIP, bem como suas entidades e funcionalidades. Em seguida, foram abordados os protocolos de transporte em tempo real RTP e

RTCP. No próximo capítulo serão apresentados os fatores que influenciam na qualidade das chamadas VoIP, assim como os métodos comumente utilizados para a avaliação de qualidade da fala.

3 *Fatores que influenciam na qualidade da chamada em voz sobre IP*

3.1 Introdução

Uma rede IP por si só não garante a entrega confiável dos pacotes ao destino. Quando se trata de uma aplicação em tempo real, então, alguns fatores têm de ser analisados na tentativa de prover a qualidade ao serviço. No presente capítulo são descritos os principais fatores que influenciam na qualidade de uma chamada em voz sobre IP, assim como os métodos aplicados para a avaliação da qualidade da fala.

3.2 Fatores que influenciam na qualidade da chamada em VoIP

Dos fatores que influenciam a qualidade das chamadas VoIP, alguns deles são dependentes da tecnologia adotada, como por exemplo a escolha do *codec* e dos equipamentos a serem utilizados. Porém, outros independem da tecnologia, tais como os ruídos externos durante a conversação.

3.2.1 Atraso

Existem duas classificações de atrasos na fala entre o locutor e seu ouvinte: atraso fim a fim e atraso de ida e volta. Cada um desses atrasos será apresentado a seguir.

- **Atraso fim a fim**

O atraso fim a fim ou atraso de ida, é o tempo desde que um pacote sai do emissor e chega ao receptor. Esta métrica possui vários problemas para ser estimada devido

às diferenças dos relógios do transmissor e do receptor. O problema pode ser solucionado se forem usados equipamentos de sincronização dos relógios. Porém, esses equipamentos nem sempre estão disponíveis.

A diferença entre os atrasos de enfileiramento dos pacotes de voz provocará também uma diferença no atraso fim a fim dos mesmos, conhecida como *jitter*.

O atraso fim a fim é formado pela conjunção dos atrasos ocasionados durante o percurso do pacote de voz na rede IP, dos atrasos na digitalização do sinal da voz, na formação dos pacotes IP e pelo atraso ocorrido na etapa de supressão da variação do atraso.

- **Atraso de ida e volta**

É o tempo em que um pacote leva para ser enviado a um receptor e devolvido ao emissor. Este atraso é conhecido como RTT (*Round Trip Time*). Neste caso, não existe o problema de sincronia dos relógios. Porém, algumas considerações devem ser feitas, por exemplo, a precisão mínima de leitura do relógio no sistema operacional. Este atraso não corresponde ao dobro do atraso fim a fim, pois a rede IP é assimétrica, ou seja, o tempo em que um pacote gasta para chegar ao seu destino não é necessariamente o mesmo tempo em que esse pacote usaria para voltar à sua origem. Isso ocorre pelo modo como os pacotes são roteados e comutados.

O atraso fim a fim é composto por quatro origens: percurso elétrico, formação e representação de pacotes, sistema operacional e atraso em redes IP. Cada uma dessas origens será descrita a seguir [Carvalho 2004].

Percurso elétrico: este atraso corresponde ao tempo em que a voz do locutor passa pelo transdutor eletroacústico e atinge o conversor A/D (Analógico/Digital), em adição ao tempo em que o sinal elétrico analógico sai do conversor D/A (Digital/Analógico) e passa pelo transdutor eletroacústico. Este atraso é mínimo e constante, pois os elétrons percorrem os circuitos elétricos a uma velocidade próxima à da luz [Carvalho 2004].

Formação e reprodução de pacotes: são os tempos utilizados para o preenchimento dos pacotes de voz a serem enviados e para a reprodução dos pacotes recebidos em forma de sinal sonoro no destino. Estes atrasos são fixos e estão na faixa de 20 ms a 30 ms, na sua formação, e de 50 ms na sua reprodução [Carvalho 2004].

Sistema Operacional: é um atraso variável que depende do sistema operacional utilizado, da capacidade do processador, da memória dos equipamentos e dos processos que estão sendo executados juntamente com o fluxo de voz.

Atraso em redes IP: o atraso ocorrido na rede IP pode causar um efeito bastante desconfortável para a interatividade da conversa e, segundo a recomendação G.114 [ITU-T 2003], esse tempo não deve ultrapassar 150 ms. Este atraso é composto por uma parte fixa e uma parte variável.

- **Atraso variável:** é o tempo gasto na filas de transmissão. Este atraso ocorre pelo modo como os pacotes trafegam na rede. Os equipamentos como roteadores e comutadores que estão entre a origem e o destino de uma conexão contribuem para a formação do atraso variável. Isso ocorre devido à velocidade da comutação de pacotes nos equipamentos, bem como aos retardos decorrentes de enfileiramento e armazenamento dos mesmos durante a transmissão.

Um modo de tentar reduzir o atraso variável é a implementação de qualidade de serviço nos equipamentos, fazendo com que os pacotes de voz tenham um tratamento diferenciado dos demais (prioridade), reduzindo assim o tempo de espera nas filas de transmissão.

- **Atraso fixo:** é composto por três tipos de tempo: tempo de empacotamento, tempo de serialização de bits e o atraso de propagação no meio físico.

Atraso de empacotamento: é o tempo necessário para a codificação e decodificação dos pacotes de voz. Esse tempo é fixo e depende do tipo de codificação e *codec* utilizado. Conforme a recomendação G.114, os tempos de amostragem, de codificação e opcionalmente de compactação dos pacotes irão depender da complexidade do algoritmo utilizado. Na seção *Codecs* de áudio, esse assunto será tratado com detalhes.

Atraso de serialização de bits: é o tempo necessário para se colocar os bits dos pacotes de dados no meio físico, sendo que este depende da velocidade do meio físico de transmissão e do tamanho do pacote que está sendo transmitido. O atraso de serialização de bits é obtido pela razão do tamanho do pacote já contendo o cabeçalho da camada de enlace e taxa de transmissão do meio (em kbps).

Atraso de propagação: é o tempo em que os bits levarão para se propagarem até o próximo nó na rede. Este tempo estima-se em 6 microssegundos por quilômetro [David 2003].

Ainda, em se tratando do atraso em redes IP, o somatório dos tempos de fila, serialização e propagação compõem o tempo de rede. Os tempos de serialização e propagação

são considerados tempos determinísticos, pois são tempos fixos a depender da velocidade de transmissão do meio físico. Já o tempo de fila é um tempo estocástico, ou seja, dois pacotes distintos de um mesmo fluxo de áudio podem sofrer atrasos de fila diferentes, a depender do caminho percorrido por esses pacotes nos nós da rede.

3.2.2 Codecs de Áudio

São algoritmos de codificação do sinal de voz que podem realizar compressão da fala. Eles estão divididos em três categorias [Balbinot et al. 2003, ITU-T 2003, Lima et al. 2005]:

- *Codecs* de forma de onda

Têm a função de codificar o sinal considerando apenas a sua forma de onda, sem considerar nenhuma outra característica. Esse tipo de codificação se dá por meio das operações de amostragens e quantização. A codificação pode ser a PCM (*Pulse Code Modulation*), a DPCM (*Differential Pulse Code Modulation*), onde o que é codificado é a diferença entre as amostras consecutivas, ou ADPCM (*Adaptative Differential Pulse Code Modulation*), que é a versão adaptativa da anterior;

- *Codecs* de fonte

Também conhecidos como paramétricos, esses *codecs* têm uma abordagem no domínio da frequência, cujo objetivo é codificar o sinal considerando apenas o modo através do qual este foi gerado, ou seja, sua fonte. Codificadores de fonte têm uma relação de qualidade *versus* taxa de transmissão quase unitária, ou seja, para a qualidade aumentar, deve-se aumentar igualmente a taxa de transmissão e essa característica não é desejável em VoIP. Um exemplo de codificador de fonte é o *Vocoder* LPC (*Linear Prediction Code*);

- *Codecs* híbridos

Os codificadores de forma de onda possuem boa qualidade, porém, necessitam de uma alta taxa de transmissão; já os codificadores de fonte necessitam de uma baixa taxa de transmissão, porém, possuem baixa qualidade. No entanto, existem os chamados codificadores híbridos, que reúnem as vantagens de ambos, fornecendo assim, uma alta qualidade com baixas taxas de transmissão.

Um exemplo de codificador híbrido é o CELP (*Code Excited Linear Prediction*). Os padrões mais recentes para codificadores de voz da ITU [G113] são os G.728 LD-

Tabela 3.1: Valores para formação de quadros dos codecs mais utilizados. Fonte: [ITU-T 2003].

Referência	Codec	Taxa(kbit/s)	Tamanho do quadro(ms)	Atraso de predição(ms)
G.711	PCM	64	0,125	0
G.729	CS-ACELP	8	10	5
G.723.1	ACELP	5,3	30	7,5
G.723.1	MP-MLQ	6,3	30	7,5
GSM-FR	RPE-LTP	13	20	0
GSM-HR	VSELP	5,6	20	0
GSM-EFR	ACELP	12,2	20	0

CELP (*Low Delay - Code Excited Linear Prediction*), G.729 CS-ACELP (*Conjugate Structure - Algebraic Code Excited Linear Prediction*) e o G.723.1 ACELP (*Algebraic Code Excited Linear Prediction*). Estes se diferem pela qualidade.

Outros *codecs* híbridos são os da família GSM, especificados pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*): GSM 06.10 FR (*Full-rate*) ; GSM 06.20 HR (*Half-rate*) e GSM 06.60 EFR (*Enhanced Full-rate*). Desses três, apenas o GSM FR trabalha com um algoritmo de domínio público, o RPE-LTP (*Regular Pulse Excitation - Long Term Prediction*) [Hersent, Guide e P.J. 2002].

Para efetuar uma boa taxa de compressão, os algoritmos codificadores têm de aguardar um certo número de amostras para poder formar um quadro. Dessa forma, o codificador insere na comunicação em curso um certo atraso, porém fixo, correspondente ao tempo de formação do quadro de voz [Hersent, Guide e P.J. 2002]. A complexidade e o tempo dependem diretamente do tipo de codificação e *codec* utilizado. Conforme pode ser observado na Tabela 3.1, as taxas de compressão, tamanho do quadro e atraso de predição variam conforme o *codec* escolhido.

Os fatores que devem ser levados em conta, quando se compara diferentes técnicas de *Vocoding* ou *Vocoders* são taxa de bits, atraso, complexidade dos algoritmos e qualidade da fala. [Balbinot et al. 2003].

- Taxa de bits: na tecnologia VoIP, o meio de transmissão é compartilhado entre os dados e a voz, porém muitos *Vocoders* ainda operam com taxas fixas de transmissão, independente do sinal de voz que é transmitido.
- Atraso: os atrasos se devem, basicamente, a dois componentes importantes que são o atraso de quadro, no qual é preciso esperar o número de bits do quadro para poder

processá-lo, e o atraso de processamento da voz, que se deve ao tempo necessário para codificação e decodificação.

- Complexidade do algoritmo: uma complexidade maior do algoritmo resulta em custo maior de processamento e de consumo de energia.
- Qualidade da fala: medida relativa da qualidade com que soa a voz sob condições ideais, ou seja, voz clara, sem erros de transmissão e somente com um processamento de codificação.

Ainda que a compressão dos bits quantizados pela PCM diminua o volume de dados entregue à rede, os *codecs* podem também empregar técnicas para otimização do uso de largura de banda, tal como a supressão de silêncio.

Supressão de silêncio

Através da técnica de presença de voz, VAD (*Voice Activity Detection*), em vez de transmitir um bloco de dados, voz ou silêncio a cada 125 ms, pode-se transmitir dados somente quando for necessário, assincronamente.

Segundo a Recomendação ITU-T P.59 [ITU-T 1993], 61% do tempo de conversação de cada um dos locutores em uma comunicação é de silêncio, dos quais 22% é de silêncio mútuo. Em [Telefonia IP], os autores afirmam que cada parte da comunicação fala apenas 35% do tempo durante uma conversação típica. Desse modo, poupa-se largura de banda, que poderá ser alocada para outra aplicação, ou ainda, para outra conversação VoIP. Essa técnica é conhecida como multiplexação estatística.

Como o silêncio total pode causar aos usuários a sensação de que a chamada foi interrompida, pode-se melhorar a percepção da voz pelo usuário receptor com o uso de mecanismos de geração de ruído de conforto. Este é invocado no receptor para simulação das características do ruído de fundo do ambiente onde o locutor se encontra.

3.2.3 Perda de pacotes

Para se efetuar uma transmissão de voz sobre IP, é necessário fazer a captura do sinal da voz do transmissor, através de processos de amostragem, digitalização e codificação, gerando pequenos quadros de amostras de voz. Estes quadros são, então, encapsulados em pacotes RTP que, por sua vez, utilizam o UDP como protocolo de transporte. Um quadro é a menor unidade de voz digitalizada gerada por um determinado codificador;

pacote é um conjunto de quadros encapsulados de forma a serem enviados pela rede IP e amostra é um conjunto de quadros, que não necessariamente preenchem um pacote.

Sob o ponto de vista da rede de transmissão, uma perda de pacote é ocasionada quando o mesmo não consegue chegar ao seu destino. A perda de pacotes de voz também é um fator impactante na qualidade da fala transmitida numa rede IP. Basicamente, os pacotes de voz podem se perder por três motivos: erros de transmissão, descarte pelos roteadores da rede ou ainda pelo *buffer* de compensação de *jitter* [Carvalho 2004].

As redes de dados IP não garantem a entrega dos pacotes. Portanto, quando a rede se encontra sobrecarregada, ocorrem os congestionamentos, e uma solução empregada é o descarte dos pacotes pelos roteadores. Quando isso acontece, a rede utiliza mecanismos de recuperação dos pacotes perdidos através do protocolo de requisição de repetição automática ARQ (*Automatic Repeat Request*), porém, para aplicações como a VoIP, esse mecanismo é inapropriado, pois iria afetar significativamente o atraso fim a fim da comunicação [Hersent, Guide e P.J. 2002].

Para amenizar o problema de perda de pacotes ocasionado pela rede, algumas técnicas de reparação de pacotes perdidos podem ser implementadas, tais como a técnica de retransmissão de pacotes, intercalação, correção de erro antecipada FEC (*Forward Error Correction*), reparação baseada em inserção, reparação baseada em interpolação e reparação baseada em regeneração [Balbinot et al. 2003].

Retransmissão de pacotes: essa técnica se baseia na retransmissão de pacotes perdidos, entretanto não se aplica no contexto de VoIP pelos motivos já apresentados.

Intercalação: essa técnica é aplicada quando os quadros gerados pelo codificador de voz são menores do que o tamanho dos pacotes e o atraso fim a fim não é significativo. Os quadros são reorganizados em seqüência antes da transmissão, fazendo com que os quadros originalmente adjacentes sejam separados por uma certa distância no fluxo transmitido e retornem à ordem original no receptor.

Correção de erro antecipada - FEC: essa técnica adiciona, a cada quadro ou pacote de voz, informação relacionada às amostras de voz mais adiantadas ou mais atrasadas. Essa informação adicional pode ser usada pelo receptor para reconstruir amostras da fala perdidas ou corrompidas.

Reparação baseada em inserção: essa técnica recupera as perdas pela inserção de um pacote de preenchimento (silêncio ou ruído), bem como a repetição do pacote anterior.

Reparação baseada em interpolação: essa técnica usa alguma forma de casamento

de padrão e interpolação para derivar um pacote substituto similar àquele perdido.

Reparação baseada em regeneração: essa técnica se baseia no conhecimento prévio do algoritmo de compressão de voz para derivar características paramétricas do *codec* utilizado, produzindo uma estimativa de áudio de um pacote perdido.

Mais detalhes a respeito das técnicas de reparação de pacotes perdidos podem ser encontradas em [Carvalho 2004, Balbinot et al. 2003].

Pacotes que chegam muito atrasados em relação ao instante de tempo em que deveriam ser reproduzidos no lado receptor tornam-se inúteis, e conseqüentemente, são descartados, sendo considerados pacotes perdidos sob o ponto de vista do receptor. Portanto, para se calcular o número de pacotes perdidos, deve-se levar em conta as perdas dos pacotes na camada de rede e também na camada de aplicação.

A ocorrência de problemas na transmissão de pacotes ao longo de uma chamada pode causar as perdas consecutivas dos mesmos, conhecidas como perdas em rajadas. Essa perda provoca a degradação na voz, de modo que até mesmo os *codecs* com algoritmo de correção de perdas não conseguem minimizar seu efeito.

E, por fim, a perda de pacotes de voz não deve ultrapassar 5% para toda a comunicação. Caso a taxa de perdas ultrapasse esse limite, ocorrerão problemas de inteligibilidade entre as partes comunicantes, comprometendo assim, a qualidade da conversação [Carvalho 2004].

3.2.4 *Buffer de compensação de jitter*

Os pacotes necessitam de um tempo para se propagar da sua origem ao seu destino na rede IP. A diferença entre o tempo de chegada de um pacote e o seu tempo de partida é composta por uma parte fixa e uma variável (*jitter*). Essa parte variável se deve ao comportamento aleatório das filas do roteadores, conforme visto na Seção 3.2.1.

Se os pacotes fossem tocados pelo receptor no mesmo instante em que fossem recebidos sem se fazer um tratamento para eliminar o *jitter*, a qualidade da fala percebida pelo ouvinte seria comprometida e “ininteligível”, causando uma sensação de desconforto.

Para tanto, os pontos terminais na rede VoIP (clientes) implementam um *buffer* para compensar os efeitos do *jitter*, conhecido como *buffer* de compensação de *jitter* e que age no lado receptor da fala. O *buffer* tem a função de segurar os pacotes por um tempo máximo até que os seus adjacentes possam chegar e ser reproduzidos de modo síncrono.

A compensação do *jitter* é ilustrada na Figura 3.1.

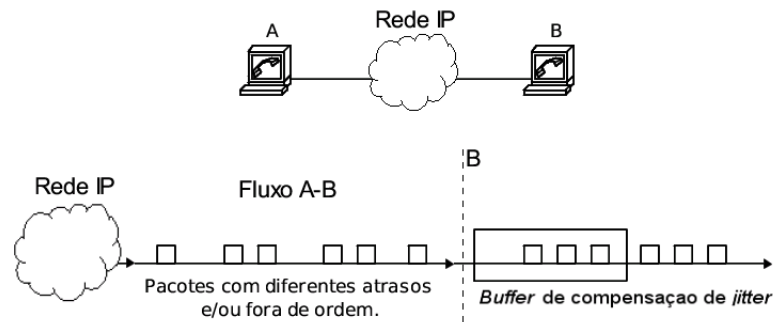


Figura 3.1: Atuação do *buffer* de compensação de *jitter*.

O tamanho do *buffer* de compensação de *jitter* é o período máximo de tempo em que o pacote aguardará para ser reproduzido. Os terminais usam heurísticas para ajustar o melhor valor para o tamanho do *buffer*. Se esse tamanho for pequeno, os pacotes correm o risco de não chegar no seu tempo de reprodução agendado e com isso serão descartados. Porém, se o tamanho do *buffer* for grande, aumentará o atraso fim a fim de modo a ser inaceitável para o usuário [Hersent, Guide e P.J. 2002].

A configuração do tamanho do *buffer* poderá ser estática ou dinâmica, sendo que a primeira opção não é a ideal, já que as condições da rede não são estáveis. A configuração de tamanho dinâmica decorre do alongamento ou redução dos períodos de silêncio, necessitando maior poder de processamento, pois será necessário avaliar constantemente o *jitter* na rede.

As duas principais variáveis a serem analisadas para se determinar o tamanho do *buffer* são o atraso e a perda dos pacotes, sendo necessário levar em consideração os valores máximos aceitáveis de pacotes perdidos (5%) e do atraso fim a fim (150 ms) para que a comunicação não seja comprometida [Markopoulou, Tobagi e Karam 2002].

Independente do algoritmo implementado ser estático ou dinâmico para o tamanho do *buffer*, este elimina os efeitos do *jitter*, gerando um certo atraso, porém fixo, pois os pacotes têm de aguardar um período antes de serem reproduzidos e, caso os pacotes não consigam chegar antes do seu período de reprodução agendado, serão descartados. Portanto, o funcionamento do *buffer* de compensação de *jitter* influencia na qualidade das chamadas em VoIP.

Neste trabalho, o *buffer* de compensação de *jitter* possui tamanho dinâmico. Isto se deve ao *softphone* utilizado, por trazer implementado em seu código este tipo de algoritmo.

3.2.5 Eco

Nos sistemas de telefonia, pode ocorrer um efeito indesejado denominado eco do sinal transmitido, causado por uma variação na impedância no meio de transmissão, refletindo o sinal, causando uma sensação de desconforto para o usuário.

Entretanto, o eco não é considerado um problema quando ocorre com defasagem de 16 a 20 ms [David 2003] em relação ao sinal original, pois fornece ao transmissor a sensação de que a conexão ainda está estabelecida, e que ainda está sendo recebida pelo ouvinte.

O eco pode ser classificado em dois tipos quanto ao lado afetado: eco de locutor e eco de ouvinte. Ambos podem ser observados na Figura 3.2

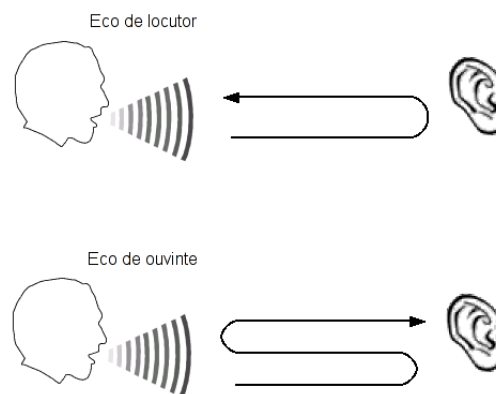


Figura 3.2: *Eco de locutor, eco de ouvinte.* Fonte: [Hersent, Guide e P.J. 2002].

- Eco de locutor: é a percepção que o locutor tem da sua própria voz, porém atrasada, podendo ser causado por um eco elétrico ou acústico ocorrido no lado do ouvinte.
- Eco de ouvinte: se o eco do locutor for refletido duas vezes, ele também poderá afetar o ouvinte, fazendo com que o ouvinte escute a voz do locutor mais de uma vez, sendo primeiro um sinal alto e depois um sinal atenuado e atrasado.

O eco elétrico é causado pelo descasamento de impedâncias entre os componentes analógicos da rede de voz. Entretanto, o eco acústico é a parte do sinal acústico realimentada do alto-falante de um dispositivo para o microfone desse mesmo dispositivo. Em ambos os casos, o efeito do eco não é notado se o atraso de ida e volta estiver abaixo de 20 ms [Hersent, Guide e P.J. 2002].

O problema de Eco pode ser minimizado com o uso de dois dispositivos como: Supressores de Eco e Canceladores de Eco.

- **Supressores de Eco:** esses dispositivos introduzem uma perda no caminho de envio quando a parte distante está falando. No momento em que a fala é detectada no circuito de transmissão, o circuito de recepção recebe uma forte atenuação, inibindo a percepção do sinal de eco [Carvalho 2004].
- **Canceladores de Eco:** esses dispositivos constroem uma estimativa de eco para removê-la do sinal recebido. A partir do monitoramento da fala da outra extremidade, é possível computar essa estimativa.

Os canceladores de eco se baseiam em três parâmetros, os quais serão descritos a seguir [Douskalis 2000]:

Tempo de convergência: é o tempo requerido para que o cancelador de eco se adapte ao circuito monitorado e proveja uma redução adequada do eco;

Cancelamento profundo: é a redução da intensidade do eco medida em dB;

Robustez dupla da fala: o cancelador de eco não perde sua habilidade do cancelamento sob condições de conversações simultâneas em ambas as extremidades da conexão.

Os canceladores de eco devem ser empregados nos dois sentidos da comunicação a fim de garantir um controle suficiente do eco de locutor. Uma vez controlado o eco do locutor, o eco do ouvinte é minimizado.

3.3 Métodos para avaliação da qualidade da fala

Em se tratando de sistemas de voz, seja no uso de telefonia convencional ou de voz digitalizada trafegando por uma rede IP, a avaliação da qualidade da fala é importante para medir a satisfação do usuário em relação ao sistema. Quanto mais próximos forem os valores dos sinais de entrada e saída do sistema, melhor será a qualidade do serviço observado.

Os métodos de medida da qualidade da fala podem estar divididos em:

- **Métodos subjetivos:** baseiam-se em uma escala de opinião dada por um grupo de ouvintes. Esses métodos foram os primeiros a ser utilizados para medir a qualidade da fala na telefonia. As recomendações ITU-T P.800 [ITU-T 1996] e P.800.1 [ITU-T 2003] descrevem os métodos subjetivos mais utilizados;

Tabela 3.2: *Escala de qualidade do som ouvido para testes de ACR. Fonte: [ITU-T 1996].*

<i>Qualidade da fala</i>	<i>Pontuação</i>	<i>Esforço necessário para compreender as sentenças</i>
Excelente	5	Relaxamento completo, nenhum esforço é requerido.
Bom	4	Atenção necessária, não é preciso muito esforço.
Regular	3	Esforço moderado requerido.
Insatisfatório	2	Grande esforço é necessário.
Ruim	1	Ininteligível, apesar de qualquer esforço empregado.

- **Métodos objetivos:** buscam estimar o resultado dado por um grupo de ouvintes sem consultá-los. Esses métodos podem estar subdivididos em métodos perceptuais e computacionais.

Os métodos perceptuais utilizam o conhecimento do funcionamento do sistema auditivo humano para compor uma medida de distorção da voz. Essa medida baseia-se na comparação entre um sinal de referência e um correspondente sinal de voz degradado.

Os métodos computacionais baseiam-se em medições para estimar a qualidade da fala percebida pelos usuários. As medições são realizadas a partir das informações de parâmetros como atraso, perdas de pacotes, nível de efeito local, ruídos, dentre outros. Como exemplo de métodos computacionais, tem-se o Modelo E, que será apresentado na seção 3.3.2

3.3.1 MOS

Os métodos subjetivos são baseados na opinião de um grupo de pessoas que são submetidas a ouvir alguns trechos de conversas, sob condições pré-estabelecidas para depois atribuir-lhes uma pontuação a respeito da qualidade.

O MOS (*Mean Opinion Score*) é derivado do método ACR (*Absolute Category Rating*), ou seja, Classificação por Categoria Absoluta, utilizado para estimar a qualidade de sistemas de transmissão de voz. Este método requer que algumas pessoas avaliem a qualidade geral de exemplos de fala submetidos a *codecs* de voz para propósitos de comunicação telefônica. Os avaliadores atribuem uma pontuação de 5 (excelente) a 1 (ruim) à qualidade da fala reproduzida pelo sistema de comunicação em teste [Lima et al. 2005].

A opinião de cada ouvinte sobre a qualidade e o esforço exercido para a compreensão da fala é representada na escala de pontuação que varia de 1 a 5, como apresentada na Tabela 3.2.

Para obter-se resultados confiáveis e reproduzíveis, segundo Hersent em [Hersent, Guide e P.J. 2002], um número de regras precisas devem ser seguidas :

- Garantir que o número total de ouvintes seja suficiente, de maneira a ter resultados estatisticamente confiáveis;
- Garantir que a audição dos ouvintes seja boa o suficiente (alguns testes médicos são necessários);
- Garantir que o material de voz a ser reproduzido seja diversificado - gênero dos locutores, pronúncia, idade dos locutores (crianças e adultos);
- Garantir que os testes sejam executados em diversos idiomas;
- Instruir os ouvintes sobre a metodologia dos testes;
- Escolher condições de audição pertinentes - equipamentos (fones de ouvidos, aparelhos de telefone, caixas acústicas) e amplitude das amostras.

O método de Classificação por Categoria Absoluta ACR não é o único método empregado para avaliar qualidade de voz. A Classificação por Categoria de Degradação DCR que resulta no DMOS e a Classificação por Categoria de Comparação que resulta no CMOS, também podem ser implementados.

Embora seja possível implementar os métodos subjetivos, eles são demorados e difíceis de controlar. A consistência e as condições de reproduzi-los são difíceis de serem conseguidas. Mesmo diante dessas complexidades, o MOS é a medida de referência para os testes de avaliação objetivos, por ele representar a opinião dos usuários finais em sistemas de telefonia [Carvalho 2004].

3.3.2 O Modelo E

O Modelo E, especificado na Recomendação G.107 da ITU-T [ITU-T 2003], descreve um mecanismo baseado na soma de termos que representam distorções na qualidade da fala, tais como: perda de pacotes, tipo de *codec*, duração dos pacotes, atraso, intensidade e atraso do eco, ruído dos circuitos utilizados, ruído ambiente, características elétricas dos terminais utilizados, intensidade da fala, distância do microfone à boca do locutor, distância do alto-falante ao ouvido do ouvinte, dentre outros. O resultado desse cômputo é o fator escalar R, que varia de 0 (pior caso) a 100 (excelente).

Porém, boa parte desses problemas são tomados como padrão, de forma que o fator R pode ser encontrado, resumidamente, como uma função da perda de pacotes, tipo de *codec*, duração dos pacotes e atraso fim a fim.

Apesar de ter sido desenvolvido para a fase de planejamento de sistemas de comunicação de voz, o Modelo E tem sido objeto de estudos para aplicá-lo como ferramenta de monitoramento da qualidade da fala no cotidiano de redes VoIP [Lustosa et al. 2004].

De acordo com a Recomendação G .107 [ITU-T 2003], o fator R poderá ser convertido para a escala de pontuação MOS através da seguinte expressão de terceiro grau:

$$\text{Para } R < 0 : MOS = 1$$

$$\text{Para } 0 \leq R \leq 100 : MOS = 1 + 0.035R + 7.10^{-6}R(R - 60)(100 - R) \quad (3.1)$$

$$\text{Para } R > 100 : MOS = 4.5$$

Normalmente, o fator R é descrito em categorias de valores, tal como pode ser consultado na Figura 3.3. Sistemas cuja qualidade da fala seja avaliada em R menor do que 60 não são recomendáveis [Cole e Rosenbluth 2001], sendo desejável obter R maior do que 70.

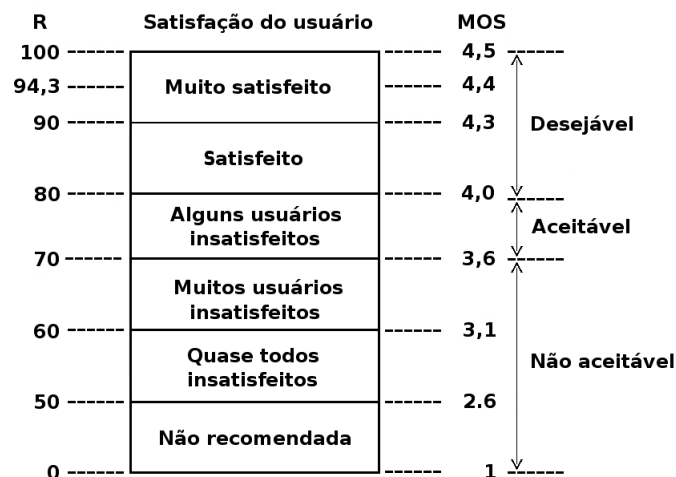


Figura 3.3: Relação entre o Fator R e MOS. Fonte traduzida: [Markopoulou, Tobagi e Karam 2002].

O fator R é obtido pela fórmula a seguir:

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A, \quad (3.2)$$

em que,

R_o representa os efeitos da relação sinal-ruído (SNR);

I_s representa as perdas simultâneas ao sinal de voz;

I_d representa as perdas associadas ao atraso fim a fim;

I_e representa as perdas associadas ao equipamento utilizado;

A corresponde ao fator de vantagem ou fator de expectativa.

Relação sinal-ruído básica, R_o

Na determinação da relação sinal-ruído básica, são calculados os ruídos acrescidos pelos circuitos de transmissão, o ruído ambiente (lado do receptor e lado do emissor) e o limiar de ruído correspondente à sensibilidade do sistema auditivo humano. A Recomendação G.107 [ITU-T 2003] apresenta as expressões matemáticas e os valores padrões para cada um desses ruídos, resultando num valor padrão de 94,77 para R_o .

Fator de perdas simultâneas, I_s

Dentre as perdas que ocorrem mais ou menos simultaneamente ao sinal de voz, estão a queda na qualidade devido a uma conexão de volume demasiadamente alto, perdas causadas pela interferência da própria voz do locutor sobre o fone de ouvido do mesmo *handset* que utiliza para falar e a distorção de quantização causada pela digitalização do sinal de voz.

As perdas causadas pelos *codecs* de baixa taxa de transmissão de bits são computadas separadamente pelo fator de perda I_e . A versão atual da Recomendação ITU-T G.107 [ITU-T 2003] apresenta uma modificação no cálculo de I_s em relação às versões anteriores. Porém, a atualização não alterou substancialmente o valor padrão de I_s , que reduziu de 1,43 para 1,41.

Fator de perdas associadas ao atraso, I_d

O fator I_d é determinado pela seguinte expressão:

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}, \quad (3.3)$$

em que,

I_{dte} representa as perdas devido ao eco no lado transmissor;

I_{dle} representa as perdas devido ao eco no lado receptor;

I_{dd} representa as perdas relacionadas ao longo atraso absoluto da voz.

Para o cálculo do fator Id é necessária também a medida de três diferentes tipos de atrasos, os quais estão ilustrados na Figura 3.4.

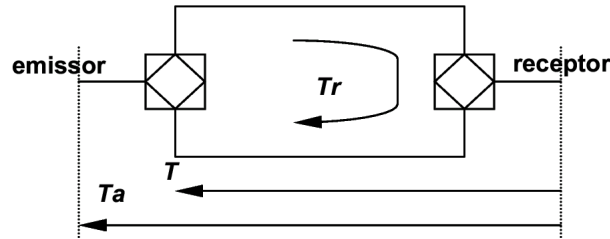


Figura 3.4: Representação de atrasos num sistema de comunicação de voz. Fonte: [Lustosa et al. 2004, Group 2002].

T_a é o atraso absoluto no sistema sem eco. T é o atraso médio percorrido pelo eco. T_r é o atraso de ida e volta no circuito a quatro fios. Como não é possível medir separadamente esses três atrasos, usa-se a aproximação [ITU-T 2003]:

$$T = T_a = T_r/2 \quad (3.4)$$

Com base na recomendação G.114 da ITU-T, T_a pode ser obtido pela equação [Lustosa et al. 2004]:

$$T_a = T_{codec} + T_{rede} + T_{buffer}, \quad (3.5)$$

em que,

T_{codec} é o atraso inerente ao *codec* utilizado;

T_{rede} é o atraso da rede;

T_{buffer} é o atraso adicionado pelo *buffer* de compensação de *jitter*.

T_{rede} foi considerado simétrico ((atraso de ida e volta)/2), pois para uma medição minuciosa seria necessária uma sincronização dos relógios das máquinas de origem e destino.

A variação de T_a é eliminada pelo *buffer* de compensação de *jitter*, devido aos pacotes serem atrasados de modo que possuam um T_a dentro da faixa de atraso tolerado pelo ouvido humano. Quando se utiliza um *buffer* de tamanho fixo, a influência do tempo é mantida constante durante toda a ligação. No entanto, ao se utilizar um *buffer* de tamanho dinâmico, a influência do tempo pode oscilar no momento em que o tamanho do *buffer* se altera, o que só deve ocorrer em períodos de silêncio, para não degradar a reprodução da fala. O uso do *buffer* de compensação de *jitter* é importante para garantir

uma regularidade do som na reprodução da fala no dispositivo receptor.

Fator de perdas associadas ao equipamento, I_e

É um meio flexível de se computar as perdas causadas pelos *codecs* de baixa taxa de transmissão de bits. Seu valor para cada *codec* depende dos resultados de exaustivos testes de pontuação MOS sob diversas taxas de perdas de pacotes. De acordo com [ITU-T 2003], o fator efetivo de perda associada ao equipamento conhecido como $I_{e,eff}$, é calculado a partir da expressão:

$$I_{e,eff} = I_e + (95 - I_e) \cdot P_{pl} / (P_{pl} + B_{pl}), \quad (3.6)$$

em que,

I_e é o fator de perda associada ao equipamento a 0% de perda de pacotes;

B_{pl} é o fator de robustez à perda de pacotes;

P_{pl} é a probabilidade de perda de pacotes.

Os valores de I_e para perda de pacotes nula e de B_{pl} estão tabelados para alguns *codecs* conforme visto em [ITU-T 2002]. O valor de P_{pl} deve ser de conhecimento do projetista ou substituído pela informação de perda de pacote obtida a partir da monitoramento do sistema de comunicação VoIP em estudo. Para determinar os valores de I_e e B_{pl} , a Recomendação G.113 [ITU-T 2002] leva em consideração que as condições de perdas são aleatórias, ou seja, que “a probabilidade de perda de um pacote independe da probabilidade de perda de qualquer outro pacote.”

Além disso, deve-se ressaltar que a determinação do $I_{e,eff}$ não consiste apenas da consulta em uma tabela, pois alguns fatores estão envolvidos, como: percentagem de perdas de pacotes, número de quadro de voz por pacote de dados, uso de algoritmo compensadores de perda (PCL *Packet Loss Concealment*), uso de detetores de atividade de voz (VAD), qualidade instantânea, qualidade percebida, comportamento da perda de pacotes alternantes e memória recente. Alguns desses fatores serão descritos ainda neste capítulo.

Fator de vantagem, A

O fator de vantagem A é empregado para definir o grau de tolerância que um usuário espera pela conveniência da utilização de uma determinada tecnologia, ou seja, é a expectativa do usuário com relação ao uso da tecnologia.

Segundo os valores provisórios apresentados em [ITU-T 2003], este fator varia de 0 (para telefonia fixa) a 20 (para localidades de difícil acesso que necessitam de enlace de satélite, por exemplo). Na telefonia celular recomenda-se o uso de A igual a 5 para as redes internas (*indoor*) e para as redes geográficas o uso de A igual a 10. No entanto, a nota técnica publicada pela *Psytechnics* [Group 2002] recomenda para VoIP o uso de A igual a 0.

Em [Lustosa et al. 2004], os autores consideram que o fator de vantagem é uma variável cultural e que, para países que possuem serviço de telefonia precário e caro, como o Brasil, este fator pode ser estabelecido em um valor positivo. Para efeitos gerais, o presente trabalho considera o fator A como 0. Assim, tem-se que a equação 3.2 pode ser reduzida a:

$$R = 93,36 - Id(Ta) - Ie(codec, perda), \quad (3.7)$$

em que,

93,36 corresponde a diferença entre do valor de R_0 (94,77) com o valor de I_s (1,41);

Id é uma função do atraso fim a fim;

Ie é simplificada uma função que depende do tipo de *codec* utilizado e da taxa de perda de pacotes.

Maiores detalhes a respeito dos cálculos apresentados pelos fatores de perda Id , Ie e atraso absoluto Ta , podem ser obtidos em [Carvalho 2004, Lustosa et al. 2004, ITU-T 2003].

O Modelo E estendido

Os modelos computacionais em geral, assim como o Modelo E, foram desenvolvidos para a fase de planejamento de redes de telefonia. O grupo de estudo 12 da ITU-T e o grupo *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks* (TIPHON) do E.T.S.I., elaboraram uma proposta de uma extensão ao Modelo E, com o objetivo de aplicar este modelo como ferramenta de medição de qualidade de voz em redes de telefonia já em funcionamento.

Uma nova aproximação para determinar o fator de perdas associadas ao equipamento Ie foi apresentada por [Clark 2001]. Este trabalho foi adotado pelo grupo de E.T.S.I. TIPHON [ETSI TS 101 329-5 v1.1.1 2000, ETSI TS 101 329-5 v1.1.2 2002, ETSI TS 102 024-5 v4.1.1 2003] como uma versão estendida do Modelo E apresentado na recomendação G.107 da ITU-T.

O fator I_e depende das taxas de perda de pacote. O comportamento da perda do pacote é uniformemente distribuído durante toda a chamada [ITU-T 2003]. Para a rede de telefonia comutada isso pode ser verdadeiro. Porém, para as redes de comutação de pacotes IP, o comportamento de perdas é aleatório.

Em [Clark 2001], Clark propõem uma nova versão para o cálculo do fator R, tendo sido adotado pelo grupo TIPHON na especificação técnica ETSI TS 101 329-5 v1.1.1 [ETSI TS 101 329-5 v1.1.1 2000] e revisão [ETSI TS 101 329-5 v1.1.2 2002]. Essa nova versão para o Modelo E descreve quatro novos conceitos empregados no estudo da qualidade na fala: a qualidade instantânea, a qualidade percebida, o comportamento alternante da perda de pacotes e a memória recente. Estes conceitos serão descritos a seguir:

Qualidade instantânea

É aquela qualidade medida ou calculada utilizando-se a perda de pacotes, atraso, tipo de *codec* e outros fatores de degradação durante a chamada.

Qualidade percebida

Corresponde à qualidade da voz percebida pelo usuário em algum instante durante a chamada.

Comportamento alternante de perda de pacotes

Normalmente, as perdas de pacotes nas redes de dados IP ocorrem em períodos de rajadas (*burst*) que se alternam com períodos de perdas espaçadas (*gap*). As perdas em rajadas são definidas pelo tempo em que os pacotes foram perdidos e/ou descartados com uma taxa elevada de perdas e/ou descarte. Mecanismos de compensação de perdas (PLC) conseguem amenizar tais distorções em períodos de poucas perdas, mas não quando estas ocorrem em rajadas [Lima et al. 2005].

Memória recente

A qualidade percebida de uma chamada telefônica varia de acordo com a localização, no tempo, das perdas. Desse modo, distorções que ocorrem ao final de uma chamada têm um efeito psicológico negativo maior sobre os avaliadores, do que distorções que acontecem no início de uma chamada [Clark 2001].

Segundo *Clark*, se a qualidade instantânea muda de “bom” para “ruim” em algum momento durante a chamada, o usuário não irá instantaneamente perceber tal mudança, mas aos poucos ficará incomodado com a degradação da qualidade da fala.

Para representar o comportamento alternante da perda do pacote, Clark [Clark 2001]

e Markopoulou [Markopoulou, Tobagi e Karam 2002] usam uma cadeia de *Markov* de 4 estados, que “representam as condições de recebimento e de perda de pacotes, nas condições de perdas em rajadas (*burst*) ou perdas espaçadas (*gap*)”. Assim, o valor do fator Ie pode ser separadamente obtido por períodos de *burst* (Ieb) e *gap* (Ieg).

Ieb e Ieg são conhecidos como fatores instantâneos do fator Ie .

$$I1 : Ieb - (Ieg - I2)e^{-b/t1}, \quad (3.8)$$

$$I2 : Ieg + (I1 - Ieg)e^{-g/t2}, \quad (3.9)$$

em que,

$I1$ é a mudança da condição de perdas em rajadas para a condição de perdas espaçadas (Ieb e Ieg);

$I2$ é a mudança da condição de perdas espaçadas para a condição de perdas em rajadas (Ieg e Ieb);

b é a duração de *burst* em segundos;

g é a duração de *gap* em segundos;

$t1 = 5$ s;

$t2 = 15$ s.

Em, [Clark 2001] Clark propõe integrar as expressões $I1$ e $I2$ para obter a média de Ie : $Ie(av)$, que corresponde a $Ie(codec, perda)$ da equação 3.7.

Qualidade final da chamada

As longas taxas de perdas e atrasos podem variar durante uma chamada. Portanto, pode-se obter diversos valores para Id e $Ie(av)$ e, conseqüentemente, ter vários resultados de R e MOS na mesma chamada. Às vezes, se faz necessário obter uma única contagem para descrever uma chamada inteira.

Assim, o Id final será a média mais significativa de cada Id instantâneo. Os pesos são a duração da chamada de cada valor Id .

Similarmente, pode-se calcular um valor mais pesado de $Ie(av)$. Entretanto, o valor do Ie no fim da chamada ($Ie(fimdachamada)$) é calculado considerando outra vez o efeito recente. De acordo com [Clark 2001], $Ie(fimdachamada)$ é dado por:

$$(Ie(fimdachamada) = Ie(pond) + k(I1 - Ie(pond))e^{-y/t3}, \quad (3.10)$$

em que,

$Ie(pond)$ é o valor ponderado de $Ie(av)$;

H representa o valor de “saída” da última perda significativa de pacotes em rajadas;

$t\beta$ é um tempo constante de 30 segundos;

y representa o tempo do atraso desde o último período de perdas em rajadas;

k é uma constante configurada para o valor nominal de 0.7

O fator R no final da chamada é obtido usando-se a equação 3.2 e o MOS final é obtido pela equação 3.1.

O Modelo E estendido e revisado

Carvalho, em [Carvalho 2004, Lustosa et al. 2004, Lima et al. 2005], propôs e implementou uma correção na recomendação da ITU-T [ITU-T 2003] e nas especificações E.T.S.I. [ETSI TS 101 329-5 v1.1.1 2000, ETSI TS 101 329-5 v1.1.2 2002, ETSI TS 102 024-5 v4.1.1 2003] do Modelo E.

Os erros encontrados não afetam o Modelo E em sua essência, mas representam inconsistências entre algumas indicações deste modelo. Tais erros foram constatados após Carvalho e Lustosa [Lustosa et al. 2004] terem refeito os passos descritos por Clark [Carvalho 2004].

- **Conversão de R para MOS**

Na equação 3.1, tem-se $MOS < 1$, para $0 < R < 6,5$. Entretanto, o MOS é definido em [ITU-T 1996] como um valor entre 1 e 5. Assim, Carvalho propôs a seguinte correção à equação 3.1:

$$\text{Para } R < 6,5 : MOS = 1$$

$$\text{Para } 6,5 \leq R \leq 100 : MOS = 1 + 0.035R + 7.10^{-6}R(R - 60)(100 - R) \quad (3.11)$$

$$\text{Para } R > 100 : MOS = 4.5$$

Como dito anteriormente, para chamadas com valor R abaixo de 60 tem-se uma estimativa de qualidade pobre. Assim, na prática, uma chamada $R = 8$ não é muito melhor do que uma chamada $R = 1$. Entretanto, um valor abaixo de 1 na escala do MOS não existe por definição, e a ferramenta da medição não pode produzir tais resultados.

- **Erro de cálculo na transição $I1$**

De acordo com o Modelo E estendido [Carvalho 2004], a transição da qualidade entre dois valores instantâneos de Ie é modelado por uma curva exponencial. Desse modo, se alguém tentar obter a expressão para $I1$ apresentada na equação 3.8, o correto seria:

$$I1 = Ieb - (Ieb - I2)e^{-b/t1}. \quad (3.12)$$

E, por fim, a expressão errada na equação 3.10 pode alterar o cálculo correto de $Ie(av)$ e, conseqüentemente, o resultado de R.

- **Probabilidade da perda de pacote no período de rajada**

Basicamente, a taxa da perda de pacote é a relação entre o número de pacotes perdidos e o número de pacotes previstos totais. “Escutando” a interface da rede, pode-se medir a taxa global de perda de pacotes. Usando o modelo da cadeia de *Markov*, é possível separar as taxas de perda de pacotes espaçadas das perdas de pacotes em rajadas.

De acordo com Carvalho em [Carvalho 2004], a especificação [ETSI TS 101 329-5 v1.1.1 2000] e umas revisões adicionais [ETSI TS 101 329-5 v1.1.2 2002, ETSI TS 102 024-5 v4.1.1 2003] começa-se a perder alguns cálculos de tal maneira que um dos contadores necessários para determinar a taxa da perda do pacote sob o período de rajada será computado duplamente, conduzindo a um valor errôneo de Ieb .

A pontuação MOS estimada será dada pela conversão do fator R em MOS segundo a expressão corrigida na equação 3.12.

3.4 Conclusão

Este capítulo abordou de forma detalhada os fatores que influenciam na qualidade das chamadas VoIP. Dentre esses fatores, os mais relevantes para este trabalho são o atraso, as perdas de pacotes na rede e o descarte de pacotes devido ao *buffer* de compensação de *jitter*.

Alguns métodos utilizados para avaliar uma chamada de modo subjetivo foram citados, como, por exemplo, o MOS. Um método para avaliação objetiva como o Modelo E da ITU-T, e suas revisões apresentadas a partir do Modelo E estendido e no Modelo E estendido e revisado, também foram abordados.

No próximo capítulo será apresentada a proposta da presente dissertação, que é um cenário para monitoramento e avaliação da qualidade das chamadas em um ambiente VoIP. Esse capítulo ainda abordará os conceitos de gerência de redes com base no protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*).

4 *Aplicação de monitoramento SNMP para análise de chamadas VoIP*

4.1 Introdução

Em uma rede de telefonia pública, a comunicação ocorre dentro de um canal dedicado para uma determinada conversa telefônica, ou seja, um caminho é estabelecido entre os pontos chamado e chamador, e assim permanece durante toda a conversação. Uma rede com essas características, denomina-se rede de comutação de circuitos.

O mesmo não acontece em uma rede IP, pois, ao contrário da rede de comutação de circuitos, não existe uma configuração prévia e nem o caminho da comunicação é dedicado. Uma rede com essas características, denomina-se rede de comutação de pacotes. Em uma rede IP, o caminho de cada pacote até o destino será determinado com base no roteamento, o que vem a acarretar perdas de pacotes e atrasos. Desse modo, garantir qualidade em uma conversa VoIP é um desafio para os projetistas dessa aplicação.

A gerência de redes é uma função que se faz cada vez mais presente em uma rede de comunicação, auxiliando para o bom funcionamento da rede, sinalizando-a quando algum problema está acontecendo ou está prestes a acontecer. Portanto, ao se implementar um serviço de rede, é de suma importância mantê-lo sempre ativo, visto que, os usuários estão cada vez mais exigentes quanto ao uso das tecnologias.

Neste capítulo será apresentado o objeto de pesquisa desta dissertação, uma aplicação de monitoramento que auxiliará na análise do comportamento das informações que influenciam na qualidade final das chamadas numa rede VoIP. Este monitoramento será baseado no modelo e protocolo de gerência de redes SNMP (*Simple Network Management Protocol*).

Na próxima Seção será apresentado o cenário e a descrição das funções de cada módulo

composto na aplicação de monitoramento SNMP.

4.1.1 Cenário do monitoramento SNMP

Na Figura 4.1, é ilustrado o cenário proposto do monitoramento, composto pelos seguintes módulos: Aplicações VoIP, Ferramenta Coleta, Banco de Dados (B.D.), *Daemon* Estatístico, Agente e Gerente. As funções desses módulos serão descritas a seguir.

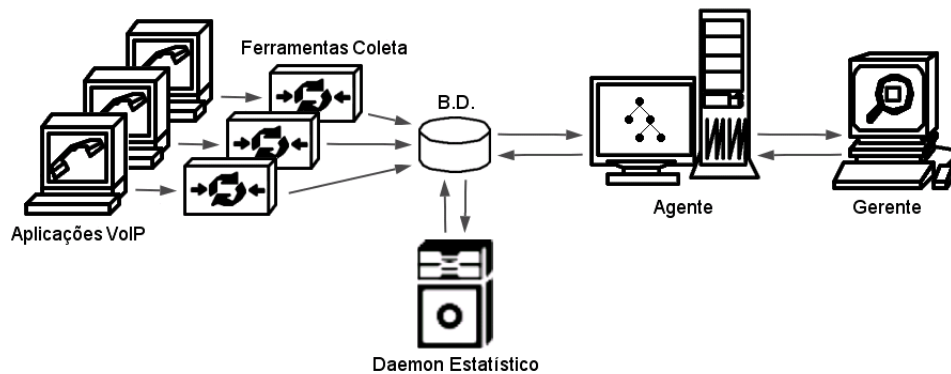


Figura 4.1: *Cenário do ambiente de monitoramento.*

Aplicações VoIP

As Aplicações VoIP são *softwares* que permitem realizar uma chamada em voz sobre IP a partir de um computador. Um arquivo de *log* é gerado no momento em que a aplicação é iniciada, contendo diversas informações a respeito de todas as chamadas ocorridas até o término do programa. A partir desse *log* é que serão retiradas as informações a serem monitoradas. Como nem todas as informações fornecidas são relevantes para a aplicação de monitoramento, as Ferramentas Coleta irão aplicar um filtro sobre os *logs* recebidos, com o objetivo de extrair apenas as informações necessárias para o monitoramento. Este módulo poderá ser composto por mais de uma Aplicação VoIP.

Ferramentas Coleta

As Ferramentas Coleta (coletores) extraem dos arquivos de *log* as informações necessárias para a aplicação de monitoramento, tais como: tipo do *codec* utilizado, número de pacotes descartados pelo *buffer* de compensação de *jitter*, atraso dos pacotes, número de pacotes perdidos na rede, tamanho do pacote (em *bytes*), entre outras.

Como o *log* fornece informações de cada pacote de voz recebido na aplicação, cria-se um grande volume de dados a serem armazenados. Dessa forma, a ferramenta também gera um relatório com os dados sobre cada chamada e os envia para o B.D. Este módulo

é composto por mais de uma Ferramenta Coleta, uma para cada Aplicação VoIP.

Banco de Dados (B.D.)

Este módulo tem a função de concentrar os relatórios das chamadas realizadas na rede monitorada e os cálculos aplicados sobre esses relatórios, para o acesso do *Daemon* Estatístico e do Agente, respectivamente.

***Daemon* Estatístico**

Este módulo é responsável por realizar os cálculos de estatísticas e de medidas sobre as informações acessadas no B.D.; estas, por sua vez, foram disponibilizadas pelas Ferramentas Coleta por meio de relatórios.

Os cálculos serão aplicados em períodos pré-agendados e, depois de processados, os dados serão devolvidos ao B.D. para serem acessados pelo Agente.

Agente

Este módulo é responsável por disponibilizar ao Gerente as informações calculadas e armazenadas no B.D. O Agente é implementado a partir de uma MIB (*Management Information Base*), a qual é modelada de acordo com as informações a serem consultadas.

Gerente

O Gerente realiza consultas periódicas ao Agente que, por sua vez, fornece as informações solicitadas. Este módulo é uma aplicação, cuja função é apresentar para o administrador da rede as informações que estão sendo monitoradas.

Nas próximas Seções, serão apresentados os principais aspectos de gerência de redes, com ênfase na função de monitoramento e uma breve descrição do protocolo e modelo de gerência SNMP. Por fim, será apresentado o desenvolvimento da aplicação de monitoramento implementada em cada módulo do cenário apresentado nesta Seção.

4.1.2 Gerência de redes

Gerenciar uma rede tem como objetivo monitorar e controlar todo o conjunto de dispositivos e aplicações que compõem uma rede de computadores. Com a complexidade cada vez maior das arquiteturas e aplicações de redes, a função de gerência se torna essencial para o bom funcionamento da rede como um todo.

A gerência de redes encontra-se dividida em cinco áreas funcionais: falhas, configuração, contabilização, desempenho e segurança. Essa divisão objetiva abranger cada

aspecto de gerência de maneira organizada [Peixoto 2003].

Falhas: o principal objetivo da área de Falhas é determinar uma falha o quanto antes possível e identificar sua causa de forma a minimizar o trabalho de reparo. A gerência de falhas envolve três etapas: detecção, isolamento e correção. Os problemas relacionados à detecção de falhas são as falhas não observadas, falhas parcialmente observadas e falhas em observação. As falhas não observadas ocorrem quando os problemas são difíceis de serem detectados localmente. As falhas parcialmente observadas são aquelas que podem ser observadas, mas a observação pode não ser suficiente para determinar precisamente o que está acontecendo. As falhas sem observação são aquelas que, mesmo quando observações detalhadas são possíveis, elas podem ser incertas e inconsistentes.

O intuito do gerenciamento de falhas é o aumento da confiabilidade da rede. Essa área pode proporcionar uma gerência reativa ou pró-ativa, ou seja, o gerente reage às falhas que já ocorreram ou o gerente busca detectar as falhas antes que elas ocorram, respectivamente.

Configuração: diz respeito à inicialização, manutenção e desligamento de componentes individuais e sub-sistemas lógicos dentro de uma configuração de máquinas e recursos. Permite ao gerente da rede ter um maior controle sobre a configuração dos dispositivos.

Este controle é alcançado devido ao acesso rápido às informações de configuração dos dispositivos distribuídos, fazendo uso de comparações entre a configuração atual da rede com outras configurações previamente armazenadas no sistema.

Contabilização: envolve a medida do uso de recursos da rede utilizados por um usuário ou grupos de usuários. Essa área tem como objetivo estabelecer medidas de consumo, cotas e cobrança dos serviços.

A contabilização tem a função de coletar estatísticas sobre a rede, para que seja feita a alocação de recursos como espaço em disco, uso de CPU, dentre outros. Pode ser determinado, por exemplo, se a utilização dos recursos está aumentando, indicando, assim, a necessidade de planejamento para adição de novos recursos e reajustes à rede.

Desempenho: visa otimizar a taxa de acesso aos recursos e assegurar uma capacidade de tráfego mínimo na rede.

Esta área é responsável por identificar se o desempenho da rede é satisfatório, através de parâmetros estatísticos como atrasos, vazões (*throughput*), disponibilidade e número de retransmissões realizadas.

Segurança: provê funções que garantem a segurança da rede e de seus componentes, permitindo a segurança ao acesso aos recursos, alarmes associados a violações da segurança e à segurança dos dados.

As funções de gerenciamento de redes podem ser agrupadas nas seguintes categorias [Carvalho 1999]:

- Monitoramento: tem a função de leitura, onde são coletadas as informações sobre os elementos de rede gerenciados;
- Análise: inferência dos dados coletados da rede a fim de permitir a tomada de decisões;
- Controle: tem a função de escrita, permitindo a alteração da configuração dos componentes da rede.

O monitoramento está presente nas áreas de desempenho, falhas e contabilização.

Para realizar as atividades de monitoramento, análise e controle, alguns elementos compõem a arquitetura básica da gerência de redes. São eles: gerente, agente, base de informações de gerência e protocolo de gerência. Na Figura 4.2 é ilustrado o modelo de gerência baseado no conceito de gerente/agente.

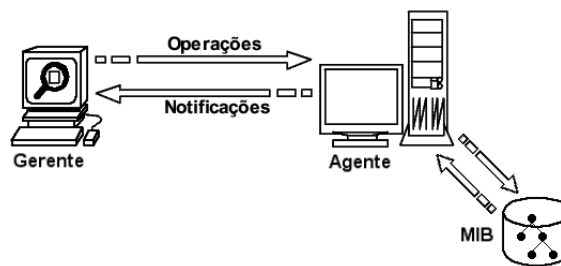


Figura 4.2: Modelo estação de gerência/agente (cliente/servidor). Fonte: [Carvalho 1999].

Gerente: é um *software* da estação de gerência que se comunica de modo direto ou indireto com um ou mais agentes nos elementos gerenciados, seja com o objetivo de monitorá-los, seja com o objetivo de controlá-los. A estação de gerência oferece uma interface através da qual os usuários autorizados podem gerenciar a rede.

O gerente solicita as informações contidas na base de informação de gerência ou MIB (*Management Information Base*) do agente. As solicitações ocorrem por meio de operações específicas do protocolo de gerência em uso. Estas operações serão detalhadas na Seção 4.1.2.3, onde será apresentado o SNMP.

Agente: é um *software* que permite que o dispositivo seja monitorado e controlado através de uma ou mais estações de gerência. O agente responde às solicitações do gerente por meio de notificações.

Protocolo de gerência: permite a comunicação eficaz entre gerente e agente, através de operações de monitoramento e controle.

O protocolo de gerenciamento descreve o formato para o envio das informações de gerenciamento e a comunicação entre gerente e agente. Duas técnicas podem ser utilizadas para o envio das informações ao gerente: *Polling* e *Trap*. Ambas serão abordadas posteriormente.

Base de informação de gerência: define os dados que podem ser referenciados em operações dos protocolos de gerência, isto é, dados sobre os quais os gerentes e agentes conversam.

A MIB é o repositório das informações relativas aos recursos gerenciados em uma rede. Os recursos são representados na forma de objetos, dispostos em uma estrutura hierárquica. São definidos através da SMI (*Structure of Management Information*), que tem como propósito a criação de uma sintaxe e semântica para a definição dos dados de gerenciamento de forma não ambígua. A SMI utiliza como base a notação sintática abstrata ASN.1 (*Abstract Syntax Notation One*).

Os objetos gerenciados são organizados em uma hierarquia de árvore. Esta estrutura é a base do esquema de atribuição de nomes do SNMP, conhecido como OID (*Object Identifier*), que define exclusivamente um objeto gerenciado. Um ID de objeto é formado por uma seqüência de inteiros baseada nos nós da árvore, separada por pontos (.). Essa seqüência de inteiros pode ser substituída pela seqüência de nomes também separados por pontos, cada qual representando um nó na árvore. Isso torna possível utilizar os próprios números ou a seqüência de nomes que representam esses números. Na Figura 4.3 são apresentados os primeiros níveis dessa árvore.

O ponto inicial da árvore é denominado *root node*, e abaixo da raiz têm-se as entidades responsáveis pela sub-árvore *ccitt(0)*, *iso(1)* e *joint(2)*. Nesta figura, *iso(1)* é o único nó que contém uma sub-árvore, pois os demais são nós de folha, ou seja, não têm ramificações. A sub-árvore *iso(1).org(3).dod(6).internet(1)* é representada na forma de OID como 1.3.6.1 ou *iso.org.dod.internet*. A notação decimal de pontos é o modo de representação interna de um objeto gerenciado dentro de um agente, sendo uma notação única que segue uma seqüência a cada objeto especificado. A ramificação *directory(1)* não

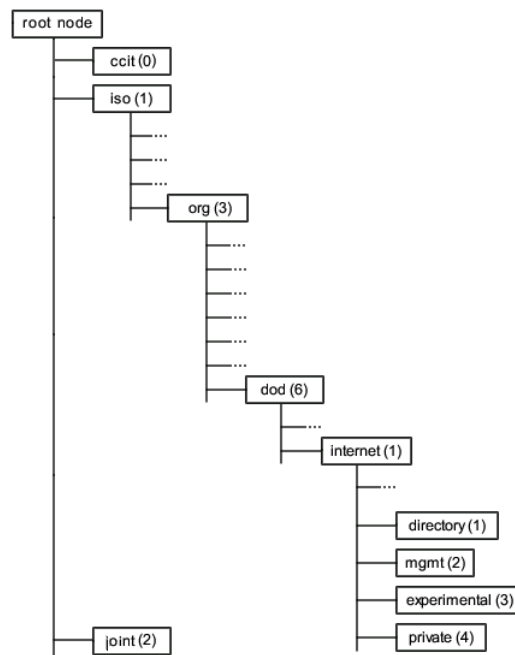


Figura 4.3: *Árvore de objetos da SMI. Figura adaptada de: [Mauro e Kevin 2001].*

é usada atualmente. *Management* ou *mgmt(2)* define um conjunto padrão de objetos de gerenciamento da Internet. *Experimental(3)* é reservada para fins de teste e pesquisa. *Private(4)* define objetos unilateralmente, o que significa que os indivíduos e as organizações são responsáveis pela definição dos objetos dessa ramificação.

Na próxima Seção será detalhada a função de monitoramento de redes com base no protocolo SNMP.

4.1.2.1 Monitoramento SNMP

O monitoramento de redes é uma função da gerência que permite observar e analisar o *status* e o comportamento dos sistemas finais, dos sistemas intermediários e fazer a configuração da sub-rede a ser gerenciada [Stallings 1999].

A função de monitoramento consiste em:

- Acesso às informações monitoradas: como são definidas as informações dos recursos a serem gerenciados e como acessá-las;
- Desenho dos mecanismos de monitoramento: qual a melhor forma de obter as informações dos recursos;
- Aplicação das informações monitoradas: como as informações monitoradas são usa-

das em várias áreas funcionais de gerência.

4.1.2.2 Arquitetura do monitoramento de redes

As informações a serem monitoradas na rede podem ser classificadas em três tipos [Stallings 1999]:

Estáticas: estas informações são caracterizadas pela atual configuração e seus elementos de configuração na rede, assim como o número de identificação de portas no roteador. Como o próprio nome sugere, alterações nessas informações não acontecem freqüentemente.

Dinâmicas: estas informações estão relacionadas aos eventos da rede, como a troca de estado na máquina de protocolo e a transmissão de pacotes na rede.

Estatísticas: estas informações podem ser derivadas das informações dinâmicas, tais como a média do número de pacotes transmitidos por unidade de tempo.

A arquitetura funcional de monitoramento de redes pode ser ilustrada por dois modelos, que podem ser observados na Figura 4.4.

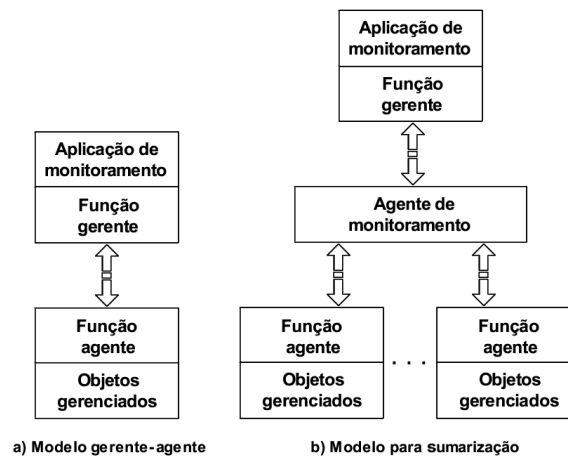


Figura 4.4: *Arquitetura funcional para monitoramento de redes. Fonte: [Stallings 1999].*

Aplicação de monitoramento: este módulo inclui as funções de monitoramento de redes que são visíveis para o usuário, tais como, monitoramento de desempenho, monitoramento de falhas e monitoramento de contabilização. A apresentação do monitoramento para o usuário (administrador da rede) dá-se geralmente em forma de gráficos;

Função gerente: este módulo é o monitor da rede que realiza as funções básicas de acesso às informações de outros elementos de configuração;

Função agente: este módulo reúne e armazena as informações de gerência, de um ou mais elementos de redes, e se comunica com o gerente;

Objetos gerenciados: estas informações são representadas pelos recursos a serem monitorados.

Agente de monitoramento: este módulo gera resumos e análises estatísticas das informações de gerência obtidas das funções agente. Se o gerente for remoto, o agente de monitoramento atua como um agente e repassa os resumos ao gerente.

No **Modelo gerente-agente**, a função agente interage com os objetos gerenciados e se comunica com a função gerente. A função gerente, por sua vez, interage com a aplicação de monitoramento e se comunica com a função agente. Esse modelo é utilizado para monitorar uma rede de modo centralizado, ou seja, um gerente monitora apenas um agente.

No **Modelo para sumarização**, para cada conjunto de objetos gerenciados tem-se uma função agente. Cada função agente se comunica com o agente de monitoramento, o qual se comunica com a função gerente. A função gerente, por sua vez, interage com a aplicação de monitoramento. Esse modelo é utilizado para monitorar uma rede de modo distribuído, ou seja, um gerente monitora diversos agentes de forma descentralizada na rede.

Fazendo-se uma comparação do cenário apresentado na Figura 4.1 com os modelos da arquitetura funcional para monitoramento de redes apresentados na Figura 4.4, as funções dos módulos apresentados neste cenário se inserem nas funções dos módulos apresentados no **Modelo para sumarização**. As **Aplicações VoIP** representam os **Objetos Gerenciados**, as **Ferramentas Coleta** representam as **Funções Agente**; o **Banco de Dados (B.D.)**, juntamente com o *Daemon Estatístico* e o **Agente** compõem o **Agente de Monitoramento**; o **Gerente** desempenha as tarefas da **Função Gerente** e da **Aplicação de Monitoramento**.

No presente texto as funções agente e gerente serão denominadas de agente e gerente, respectivamente. E a pessoa física que gerencia uma rede será denominada de administrador da rede.

As informações de monitoramento são coletadas e armazenadas pelos agentes e disponibilizadas para os gerentes a partir das operações de *Polling* e *Trap*.

Polling: é a interação de requisição/resposta entre o gerente e o agente. Esta comunicação parte do gerente para o agente, onde o gerente necessita de alguma informação

contida na MIB do agente. Esta requisição pode ser específica, listando uma ou mais variáveis (objetos).

Trap: é uma iniciativa do agente para notificar o gerente sobre determinado evento, podendo ser um evento significativo (a troca de um estado) ou um evento incomum (falha). O agente pode gerar periodicamente relatórios a respeito do *status* atual. O período de envio de relatórios pode ser pré-configurado ou determinado pelo gerente.

4.1.2.3 O Protocolo SNMP

O SNMP (*Simple Network Management Protocol*) é o principal modelo de gerenciamento de redes utilizado atualmente. Essa realidade se deve ao fato do modelo necessitar da pilha TCP/IP para funcionar e este conjunto de protocolos ser o mais utilizado na Internet [Rocha 2004]. Outro fato que contribui para essa realidade é a utilização do protocolo SNMP para a troca de informações entre agente e gerente. Esse protocolo se tornou o padrão “*de facto*” da *Internet* por ser simples, de fácil implementação, público e por possibilitar um gerenciamento efetivo.

O SNMP foi padronizado pelo IETF na RFC 1157 [Case et al. 1990] para monitorar redes simples. Este protocolo refere-se a uma coleção de especificações para gerência de redes, que inclui não somente o protocolo de gerenciamento, mas também a definição da estrutura das informações de gerência e dos conceitos associados. Portanto, o SNMP define como as informações serão trocadas entre as entidades e apresenta um modelo de gerência denominado modelo gerente/agente.

O SNMP pode ser encontrado em diversos sistemas operacionais e dispositivos, como por exemplo, comutadores, servidores de redes, roteadores, analisadores, monitores de rede. Todos os elementos que suportam o SNMP têm implementado como padrão a MIB II [Stallings 1999], a qual se encontra ilustrada na Figura 4.5. Alguns elementos da MIB II são descritos a seguir.

system: define uma lista de objetos pertencentes à operação do sistema, como o tempo de funcionamento, contato e nome do sistema.

interfaces: rastreia o *status* de cada interface em uma entidade gerenciada.

at: o grupo *address translation* é fornecido somente para manter a compatibilidade com versões anteriores.

ip: rastreia os diversos aspectos do IP, incluindo o roteamento IP.

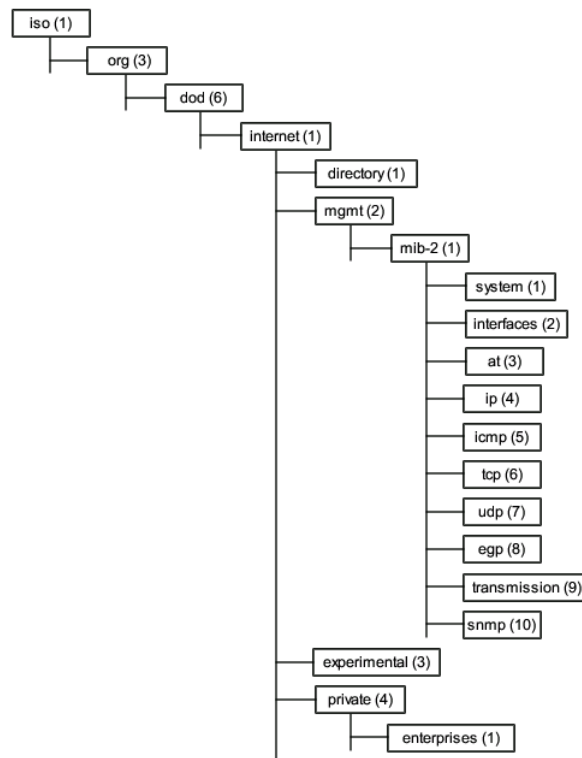


Figura 4.5: Árvore de objetos da MIB II. Fonte: [Stallings 1999].

icmp: rastreia aspectos como erros de ICMP (*Internet Control Message Protocol*), exclusões, dentre outros.

tcp: rastreia, entre outros aspectos, o estado das conexões do TCP (*closed*, *listen*, *synSent*).

udp: rastreia dados estatísticos do UDP, datagramas internos e externos.

egp: rastreia diversos dados estatísticos sobre o EGP (*Exterior Gateway Protocol*) e mantém uma tabela de vizinhos do EGP.

transmission: não existem atualmente objetos definidos para este grupo, mas outras MIBs específicas de mídia são definidas por meio desta sub-árvore.

snmp: avalia o desempenho de implementação básica do SNMP na entidade gerenciada e rastreia o número de pacotes SNMP enviados e recebidos.

O SNMP é definido na camada de aplicação, e os dados de gerência são obtidos através de requisições, utilizando os serviços do protocolo UDP (camada de transporte) para enviar e receber as mensagens através da rede. Por ser um protocolo sem conexão, o UDP não gera tráfego excessivo para o gerenciamento da rede, mas pode ocasionar perda de informações de gerenciamento. Entretanto, na prática, boa parte das mensagens são

entregues ao destinatário. Caso as mensagens não sejam entregues ao destinatário, as mesmas serão retransmitidas.

Atualmente o protocolo SNMP está na sua terceira versão. Entretanto, as primeiras versões do protocolo (SNMPv1 e SNMPv2) ainda são as mais usadas por sua simplicidade. A versão utilizada para o desenvolvimento da aplicação de monitoramento aqui proposta foi a terceira versão, também denominada de SNMPv3. Por ser a última versão do protocolo, a versão 3 encapsula as funções das versões anteriores (versão 1 e versão 2). Outro fator importante do SNMPv3 é o suporte efetivo à segurança, o que não era especificado nas outras versões.

O SNMPv1 possui mensagens de tamanho variável. Uma mensagem SNMP contém um cabeçalho de autenticação não criptografado, onde o agente verifica se o gerente é autorizado a ter acesso a seus recursos. O protocolo também contém uma PDU (*Protocol Data Unit*) que indica o tipo de operação a ser realizada.

Os tipos de PDUs da primeira versão do SNMP são apresentadas na Figura 4.6

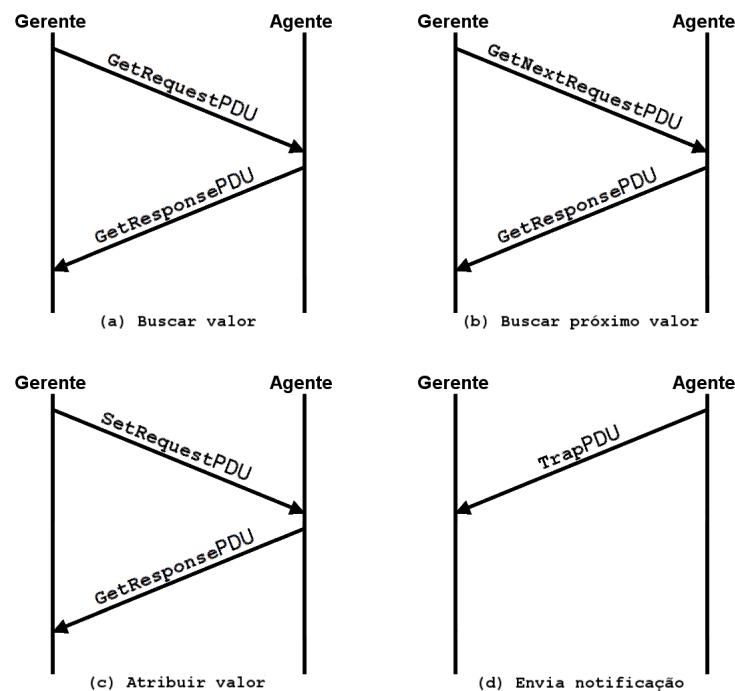


Figura 4.6: *PDUs SNMP*. Fonte: [Stallings 1999].

- *GetRequest* - solicita o valor de um objeto gerenciável;
- *GetNextRequest* - solicita o próximo valor de um objeto gerenciável;
- *GetResponse* - fornece a resposta do agente às requisições realizadas;

- *SetRequest* - modifica o valor de um objeto gerenciável;
- *Trap* - informa ao gerente a ocorrência de um evento significativo.

Todas as ações das operações apresentadas originam-se do gerente para o agente, exceto a operação *Trap*, que é uma mensagem do agente para o gerente.

O SNMPv1 possui algumas limitações derivadas de sua simplicidade, como a falta de segurança, por proporcionar um esquema de autenticação trivial, em que a senha de acesso aos recursos trafega na rede como texto puro, ou seja, sem criptografia. A ineficiência para a aquisição de grandes quantidades de informações de gerência e a falta de comunicação entre gerentes por parte do SNMPv1 faz com que a gerência da rede seja centralizada.

Para tentar resolver algumas das deficiências da primeira versão, o IETF trabalhou para produzir a segunda versão do protocolo. Para tanto, o SNMPv2 oferece suporte a duas operações adicionais:

- *GetBulkRequest* - permite a transferência de ramos da MIB;
- *InformRequest* - permite a comunicação entre gerentes.

Com estas duas novas operações, a versão 2 do SNMP proporciona a aquisição de grandes volumes de informações com eficiência e suporte à gerência distribuída. Outra melhoria nesta versão é o emprego de técnicas criptográficas na transmissão das senhas de autenticação do gerente, dificultando assim, o acesso de intrusos. Apesar dos avanços em relação à segurança, o SNMPv2 ainda não garante uma boa segurança das informações.

Esta versão do protocolo teve variações como SNMPv2p, SNMPv2u e SNMPv2c, entretanto a mais utilizada é a versão SNMPv2c pela compatibilidade e simplicidade derivadas da primeira versão. As versões SNMPv2p e SNMPv2u tiveram adição de complexidade em oposição ao SNMP original e portanto não são muito utilizadas.

A terceira versão do protocolo veio resolver efetivamente o problema de segurança das versões anteriores. Desse modo, esta versão inclui três serviços adicionais: autenticação, privacidade e controle de acesso.

O serviço de autenticação oferece proteção direta contra ataques de modificação de dados e, de forma indireta, provê autenticação de origem e defesa contra ataques de entidades não autorizadas que tentam executar operações de gerenciamento sem permissão. Desta forma, o serviço de autenticação permite que um agente verifique se uma solicitação está vindo de um gerente autorizado, certificando-se sobre a integridade do seu conteúdo.

O serviço de privacidade permite a criptografia eficiente de mensagens para evitar invasão de terceiros e o serviço de controle de acesso possibilita configurar os agentes para oferecerem diferentes níveis de acesso a diferentes gerentes, além de restringir o acesso à MIB local e permitir administração remota.

Os serviços de autenticação e privacidade do SNMPv3 são providos pelo mecanismo de segurança USM (*User-based Security Model*), incluindo uma especificação de MIB que permite a monitoração remota e o gerenciamento dos parâmetros de configuração do modelo de segurança baseado em usuário, entre eles os relacionados ao gerenciamento das chaves criptográficas.

O serviço de controle de acesso é definido através do VACM (*View-based Access Control Model*). O modelo de acesso baseado em visão é composto por cinco elementos: grupo, nível de segurança, contexto, visão (*MIB Views*) e política de acesso.

Um grupo pode ser definido como um conjunto de zero ou mais t-uplas [*securityModel, securityName*] pelas quais a informação de gerenciamento pode ser acessada. Os direitos de acesso podem ser diferentes para um mesmo grupo, dependendo do nível de segurança da mensagem que contém a requisição. A determinação de controle de acesso depende de uma série de fatores, como a importância da informação armazenada no objeto ou o tipo de acesso requerido (leitura, escrita, notificação).

Um contexto de MIB é um subconjunto de instâncias de objetos em uma MIB local. O acesso a um contexto é estabelecido através do conceito de visão de MIB (*MIB View*), que define um conjunto específico de objetos gerenciados e, opcionalmente, de instâncias desses objetos, baseadas no conceito de *view subtrees*, que são simplesmente nós de uma determinada MIB, juntamente com alguns dos objetos subordinados àquele nó. Contextos provêm um mecanismo eficiente de se agregar objetos em coleções com diferentes políticas de acesso [Rocha 2004].

Com essas características, o SNMPv3 representa um avanço considerável em relação às demais versões do protocolo.

Na próxima Seção, será apresentada a descrição do desenvolvimento da aplicação de monitoramento, cujo cenário foi ilustrado no início deste capítulo através da Figura 4.1.

4.2 Desenvolvimento da aplicação de monitoramento SNMP

Para o desenvolvimento da aplicação de monitoramento proposta nesta dissertação, foi utilizada uma modelagem de sistema, cujo objetivo é representar a aplicação como um todo. As Seções 4.2.1 e 4.2.2 irão descrever a modelagem do sistema e os detalhes técnicos da implementação e configuração dos módulos da aplicação, repectivamente.

4.2.1 Modelagem da aplicação de monitoramento SNMP

A prática de modelagem de sistemas é muito utilizada, por proporcionar aos desenvolvedores uma melhor compreensão do sistema ou parte dele, o que vem a auxiliar em todo o processo de desenvolvimento.

A técnica *Use Case Maps* (UCM) ou Mapas de Caso de Uso, foi escolhida para fazer a representação da aplicação de monitoramento. O uso da notação *Use Case Maps* une comportamentos e estruturas em um caminho explícito e visual. UCM são entidades de arquitetura que descrevem a relação entre responsabilidades.

A notação do UCM é composta principalmente de **elementos de trajeto** e de **componentes**. Elementos de trajetos geralmente são responsabilidades em seqüência, em alternativas e em paralelo. Existem operações mais avançadas que podem ser usadas para estruturar UCM hierarquicamente e para representar cenários complexos e de comportamento dinâmico. Os componentes são retângulos que representam entidades do sistema.

Na Figura 4.7 são ilustrados quatro elementos básicos do *Use Case Maps*.

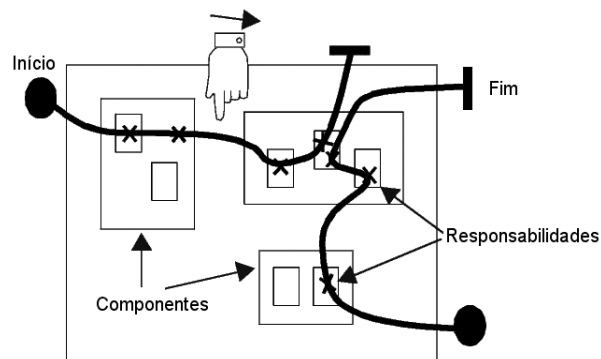


Figura 4.7: *Notação Básica*. Fonte: [Use Case Maps Virtual Library 1999].

Pontos iniciais: círculos preenchidos representam pré-condições que marcam o início de um trajeto.

Responsabilidades: representam ações, tarefas ou funções a serem executada e são ilustradas por um **x**.

Pontos finais: barras que representam pós-condições ou efeitos resultantes.

Componentes: as responsabilidades podem ser limitadas aos componentes, que são as entidades ou os objetos que compõem o sistema.

As alternativas e os segmentos compartilhados das rotas são representados como trajetos sobrepostos como apresentado na Figura 4.8, o *OR-join* une dois (ou mais) trajetos sobrepostos, enquanto que um *OR-fork* divide um trajeto em duas (ou mais) alternativas.

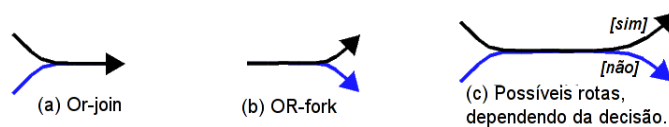


Figura 4.8: *Mudança de rotas e OR-Forks/Joins. Fonte: [Use Case Maps Virtual Library 1999].*

Existem ainda elementos com funções específicas, dentre eles, o *Timer*, como está ilustrado na Figura 4.9.

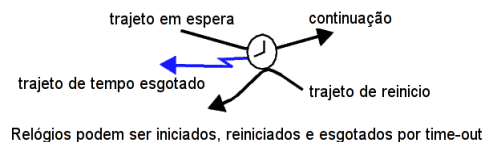


Figura 4.9: *Timer. Fonte: [Use Case Maps Virtual Library 1999].*

Timer: lugar de espera especial provocado pela chegada oportuna de um evento específico. Pode também provocar um trajeto de *time-out* quando este evento não chega a tempo.

O UCM contém outros elementos para o desenvolvimento de modelagem de sistemas além dos apresentados nesta Seção. Uma descrição detalhada a respeito desta ferramenta e todos os seus elementos pode ser encontrada em [Use Case Maps Virtual Library 1999].

A modelagem da aplicação de monitoramento com *Use Case Maps* proporciona uma visão geral de todo o sistema e a compreensão das comunicações entre os seus módulos.

A modelagem do sistema é apresentada na Figura 4.10, os componentes Aplicação VoIP e Ferramenta Coleta estão representando apenas uma unidade de cada um desses módulos, portanto, os nomes desses elementos estão no singular.

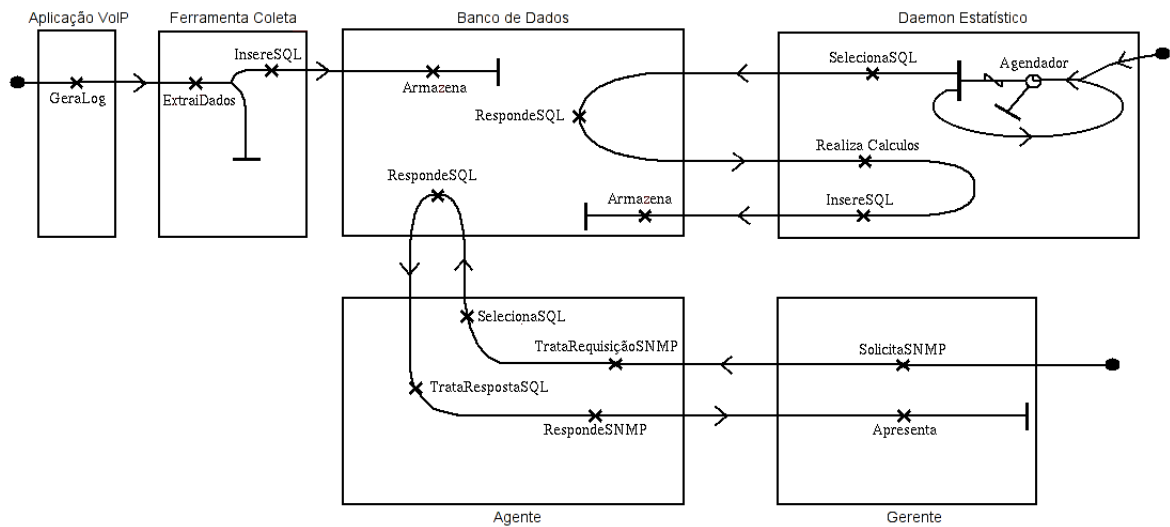


Figura 4.10: Modelagem da aplicação de monitoramento.

O sistema da aplicação está dividido em três subsistemas, ou seja, tem-se a comunicação entre a Aplicação VoIP, a Ferramenta Coleta e o Banco de Dados; a comunicação entre o *Daemon* Estatístico e o Banco de Dados (B.D.) e a comunicação entre o Gerente, o Agente e o Banco de dados. Vale observar que o B.D. é o elemento central da aplicação, ou seja, ele se comunica com os três subsistemas, proporcionando, assim, a troca de informações entre eles.

No primeiro subsistema, a Aplicação VoIP gera o arquivo de *log* (*GeraLog*). Desse *log* são extraídos os dados relevantes ao monitoramento, pela Ferramenta Coleta (*ExtraiDados*), e em seguida esses dados são armazenados no Banco de Dados (*InsererSQL*).

No segundo subsistema o *Daemon* Estatístico contém uma “agenda” de tarefas (*Agendador*), que determina o momento em que o *Daemon* deve acessar no B.D. (*SelecionaSQL*) as informações que serão a base para os cálculos (*Realiza Calculos*). Os resultados destes cálculos serão retornados ao B.D. (*InsererSQL*) para serem armazenados (*Armazena*). Tanto a busca no B.D. das informações a serem calculadas, quanto a realização dos cálculos, variam por período, informações de qualidade de chamada e estatística que se deseja apresentar.

No terceiro e último subsistema, o Gerente periodicamente apresenta as informações monitoradas para o administrador da rede (*Apresenta*). Essa tarefa é realizada por meio de solicitações ao Agente (*SolicitaSNMP*). O Agente acessa as informações no Banco de Dados (*SelecionaSQL*), que são os cálculos realizados pelo *Daemon* Estatístico, e responde as solicitações do Gerente (*RespondeSNMP*). A comunicação realizada entre o Gerente e o

Agente são solicitações e respostas utilizando as operações SNMP; e a comunicação entre o Agente e o Banco de Dados são consultas e respostas SQL.

O uso do UCM foi muito útil, pois proporcionou uma modelagem em alto nível de toda a aplicação de monitoramento, o que facilitou o desenvolvimento do sistema.

Nas próximas Seções, será descrito o desenvolvimento de cada módulo da aplicação de monitoramento apresentado no cenário da Seção 4.1.1.

4.2.2 Características técnicas dos módulos da aplicação

As próximas Seções apresentarão os detalhes técnicos da configuração e implementação de cada módulo da aplicação de monitoramento.

4.2.2.1 Aplicações VoIP

As Aplicações VoIP são telefones “virtuais” ou *softphones* instalados em microcomputadores, que permitem realizar chamadas telefônicas via rede IP. O grupo de projeto OpenH323 [Openh323 Project. 2003] desenvolveu o *OpenPhone*, um *softPhone* para uso em sistema operacional *Windows* e o *OhPhone* para uso em sistema operacional *Linux*. Ambos se baseiam na sinalização H.323 por meio da biblioteca OpenH323.

Devido ao laboratório usado para a realização desta pesquisa ter em suas máquinas o *Linux* como sistema operacional padrão instalado, optou-se pelo uso do *OhPhone*.

As Aplicações permitem fazer configurações como escolher o *codec* a ser utilizado, configurar um *gatekeeper* (onde o cliente pode se registrar), configurar um *alias* para ser atribuído a um número de telefone “virtual”, entre outras.

O H.323 foi utilizado como protocolo de sinalização, devido à facilidade de acesso às informações a respeito deste padrão no início da pesquisa. Como a aplicação de monitoramento proposta utiliza informações obtidas dos protocolos de transporte RTP/RTCP, a escolha do protocolo de sinalização pouco influencia neste contexto.

Durante a execução da aplicação é gerado um arquivo de *log* (*trace*) no formato .txt, o qual apresenta diversas informações referentes aos eventos ocorridos desde o início da aplicação, como sinalização da chamada, negociação de mídia, estatísticas do fluxo de áudio e outras. É desse arquivo que serão extraídas as informações de qualidade da fala a serem monitoradas.

As informações extraídas do *log* se referem ao fluxo de áudio que chega ao receptor. No início de uma chamada são abertos dois canais de comunicação RTP, um para cada sentido da conversação, ou seja, um canal para ida e um canal para a volta. Desse modo, o monitoramento é realizado sobre o fluxo de áudio recebido.

0:00.011	OhPhone	osutils.cxx(804)	OhPhone	Version 1.4.1 by Open H323 Project on Unix Linux (2.6.8.1-kanotix-10-i686) at 2005/11/19 15:25:09.647
(...)				
0:17.761	RTP Jitter:809b220	rtp.cxx(931)	RTP	First data: ver=2 pt=PCMU psz=240 m=1 x=0 seq=23906 ts=480 src=2008764293 ccnt=0
0:17.761	RTP Jitter:809b220	rtp.cxx(1032)	RTP	Receive statistics: packets=1 octets=240
lost=0 tooLate=0 order=0 avgTime=0 maxTime=0 minTime=4294967295 jitter=0 maxJitter=0				
(...)				
1:07.015	RTP Jitter:809b220	rtp.cxx(1032)	RTP	Receive statistics: packets=915 octets=219600
lost=0 tooLate=29 order=0 avgTime=0 maxTime=30 minTime=30 jitter=3 maxJitter=90				
1:07.045	RTP Jitter:809b220	rtp.cxx(1032)	RTP	Receive statistics: packets=916 octets=219840
lost=0 tooLate=29 order=0 avgTime=0 maxTime=30 minTime=30 jitter=3 maxJitter=90				
1:07.075	RTP Jitter:809b220	rtp.cxx(1032)	RTP	Receive statistics: packets=917 octets=220080
lost=0 tooLate=29 order=0 avgTime=0 maxTime=30 minTime=30 jitter=3 maxJitter=90				
1:07.105	RTP Jitter:809b220	rtp.cxx(1032)	RTP	Receive statistics: packets=918 octets=220320
lost=0 tooLate=29 order=0 avgTime=0 maxTime=30 minTime=30 jitter=3 maxJitter=90				
1:07.135	RTP Jitter:809b220	rtp.cxx(1032)	RTP	Receive statistics: packets=919 octets=220560
lost=0 tooLate=29 order=0 avgTime=0 maxTime=30 minTime=30 jitter=2 maxJitter=90				
1:07.165	RTP Jitter:809b220	rtp.cxx(1032)	RTP	Receive statistics: packets=920 octets=220800
lost=0 tooLate=29 order=0 avgTime=0 maxTime=30 minTime=30 jitter=2 maxJitter=90				
(...)				
1:20.739	LogChanRx:809b220	jitter.cxx(550)	RTP	Jitter buffer size increased to 1213 (151ms)
(...)				
1:43.169	UserInterf...d:809b220	h323.cxx(1427)	H323	Call end reason for ip\$192.168.0.1:2008764293 set to EndedByLocalUser
(...)				

Figura 4.11: Arquivo de log da Aplicação VoIP.

Na Figura 4.11 são apresentados trechos de um *log* gerado pelo *OhPhone*, contendo as informações a serem extraídas pelas Ferramentas Coleta. Cada linha do *log* se divide em cinco colunas. A quinta coluna apresenta uma descrição do evento ocorrido no *OhPhone*, e a primeira coluna registra quanto tempo se passou desde o início da aplicação até o instante deste evento, ou seja, é a marcação de um “cronômetro” iniciado ao mesmo instante que a aplicação. Por exemplo, a última linha da figura indica que a chamada terminou (**Call end**), aproximadamente um minuto e quarenta e três segundos (**1:43.169**) após o início da aplicação.

No primeiro trecho é apresentada a primeira linha do *log*, que registra o momento (data e hora) em que a aplicação foi iniciada (**2005/11/19 15:25:09.647**). Essa informação é útil para determinar a data e a hora reais dos eventos descritos nesse arquivo.

O segundo trecho mostra a linha que indica o início de uma chamada (**First data**). Essa linha contém as informações sobre os pacotes de voz: **pt** (*payload type*) e **psz** (*payload size*), que indicam, respectivamente, o tipo de *codec* utilizado e o seu tamanho.

O terceiro trecho apresenta as linhas **Receive statistics** que são escritas no *log* a cada pacote de voz que é aceito pelo *buffer* de compensação *jitter*. Isso se deve à alteração feita na biblioteca OpenH323 por Carvalho em [Carvalho 2004], necessária para calcular o fator R. Cada uma dessas linhas contém informações estatísticas que se referem a toda

a transmissão do fluxo de áudio, ou seja, o fluxo desde o início da chamada até o instante em que a linha foi escrita. São essas informações: total de pacotes aceitos (**packets**), total de pacotes perdidos na rede (**lost**) e total de pacotes descartados pelo *buffer* de compensação de *jitter* (**tooLate**).

O penúltimo trecho apresenta o valor do atraso (**151 ms**), o qual está representado pelo tamanho do *buffer* de compensação de *jitter* em milissegundos. Este valor se refere ao atraso sofrido pelo pacote de voz na rede IP mais o atraso incorrido no *buffer* de compensação de *jitter*. O valor do atraso inicial fornecido pela aplicação é de 116ms. De acordo com a variação do atraso (*jitter*) dos pacotes aceitos, este valor poderá aumentar ou diminuir, pois esse *buffer* tem comportamento dinâmico. **Jitter buffer size increased to** ou **Jitter buffer size decreased to** representam esse comportamento do *buffer*.

O último trecho indica o momento em que a chamada foi encerrada, aproximadamente, 2 minutos (**1:43.169**) após iniciada a aplicação.

4.2.2.2 Ferramentas Coleta

As Ferramentas Coleta, assim como o *Daemon* Estatístico e o Agente, foram desenvolvidas em Java [Java 2 Platform Standard Edition 5.0 SDK. 2005] por oferecer facilidade de manutenção, independência da plataforma e facilidade de comunicação com SGBD's (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados) por meio da tecnologia JDBC (*Java Database Connectivity*) [JDBC Technology. 2005].

As Ferramentas Coleta geram, sobre cada chamada, um relatório a partir dos dados extraídos do *log*, e o armazena para uso posterior. As informações contidas nesse relatório são: a avaliação da chamada (MOS), data e hora reais do início e fim da chamada, o atraso médio sofrido por cada pacote aceito, os totais de pacotes aceitos, os pacotes perdidos na rede e os pacotes descartados pelo *buffer* de compensação de *jitter*.

As informações de totais de pacotes (aceitos, perdidos e descartados) são extraídas da última linha **Receive statistics** do *log*, pois são valores acumulados durante a chamada. Como o valor do “cronômetro” não marca a hora real de um evento, obtém-se o valor de data e hora reais no início da chamada, somando-se a marcação do “cronômetro” à data e hora do início do *OhPhone*. O mesmo ocorre para o valores no final da chamada.

O valor do atraso médio é a média aritmética do atraso sofrido por cada pacote na chamada. Esse atraso é o tempo máximo que um pacote espera no *buffer* de compensação de *jitter* para ser processado, ou seja, o tamanho do *buffer* em milissegundos.

O fator R a ser usado, é calculado a partir do Modelo E estendido e revisado, apresentado no Capítulo 3. Com o valor de R tem-se o indicador da avaliação da qualidade da chamada por meio do MOS, conforme observado na Figura 3.3.

Para obter o MOS da chamada, as Ferramentas Coleta implementam o algoritmo que foi desenvolvido por Carvalho [Carvalho 2004]. Este algoritmo trabalha com dois eventos:

- alteração do tamanho do *buffer* de compensação de *jitter*, o que implica no recálculo do fator de perdas associado ao atraso, *Id*;
- perda de pacotes, evento que chama uma função dentro do algoritmo para determinar o comportamento das perdas, em rajadas ou espaçadas e calcular o fator de perdas associadas ao equipamento, *Ie*, segundo o Modelo E estendido e revisado por Carvalho.

As informações contidas nos relatórios serão armazenadas no Banco de Dados para uso do *Daemon* Estatístico.

4.2.2.3 Banco de Dados - B.D.

O Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) utilizado foi o MySQL [MySql. 2005], pela facilidade de manuseio, por ser *software* livre, por ter uma vasta documentação e boas ferramentas de administração.

O uso de um B.D. no ambiente de monitoramento da aplicação VoIP é importante para realizar a interatividade da comunicação entre a Ferramenta Coleta, o *Daemon* Estatístico e o Agente. As Ferramentas Coleta armazenam os relatórios sobre as chamadas para o acesso do *Daemon* Estatístico. Este, por sua vez, armazena os resultados das estatísticas para serem acessadas pelo Agente.

statisticsforeachcall
startTime: timestamp
finalTime: timestamp
totalPackets: int
Lost: int
TooLate: int
DelayAverage: double
MOS: double

Figura 4.12: Tabela *statisticsforeachcall*.

Na Figura 4.12 é apresentado o formato de como o relatório de uma chamada é armazenado na tabela *stastisticsforeachcall* do Banco de Dados. Os campos: **startTime**

e **finalTime** correspondem, respectivamente, às data e hora do início e fim da chamada, sendo do tipo *timestamp* (inteiro que armazena o número de milissegundos que se passaram desde, 01/01/1970 às 00:00:00.0, como no formato Unix); **totalPackets**, **Lost** e **TooLate** são do tipo inteiro; **DelayAverage** e MOS são fracionários, do tipo **double**.

Além da tabela apresentada anteriormente, o B.D. contém mais quatro tabelas, que são ilustradas na Figura 4.13 com base em um modelo relacional.

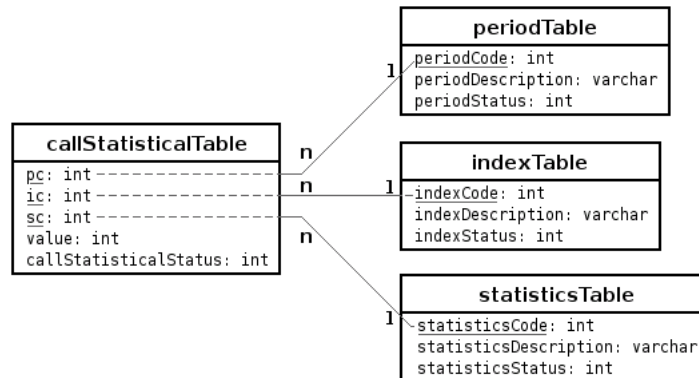


Figura 4.13: Modelo relacional do banco de dados.

As tabelas *periodTable*, *indexTable* e *calculationTable* armazenam as informações de período, índices e cálculos (estatísticas e medidas), respectivamente, e apresentam o mesmo padrão de estrutura, com três colunas: código, do tipo inteiro, este campo sendo a chave primária da tabela; descrição, do tipo *varchar* e *status*, do tipo inteiro. As colunas *periodCode*, *indexCode* e *calculationCode* são chaves estrangeiras em *callResultsTable* e juntas formam sua chave primária (*pc*, *ic* e *sc*).

A tabela *callStatisticalTable* está representando o relacionamento entre as três tabelas anteriores. A coluna *value* é o atributo desse relacionamento, ou seja, seu valor depende da combinação entre o período, o índice e o cálculo. Todas as linhas desta tabela armazenam dados do tipo inteiro.

As últimas linhas [nometabela]*Status* de todas as tabelas da Figura 4.13 são mantidas pelo agente e as demais são alimentadas pelo *Daemon* Estatístico.

4.2.2.4 *Daemon* Estatístico

O *Daemon* Estatístico ou simplesmente *Daemon*, é um *software* que realiza cálculos de estatísticas e de medidas sobre alguns dos dados que as Ferramentas Coleta armazenam no B.D. em forma de relatórios. Esses dados estão contidos na tabela *statisticsforeachcall* apresentada na Figura 4.12.

Com o objetivo de fornecer uma estimativa da qualidade das chamadas e dos fatores que implicam nessa qualidade, optou-se que o monitoramento seria realizado com base em períodos pré-definidos. Para isso, os cálculos seriam aplicados sobre os índices (*Lost*, *TooLate*, *DelayAverage* e MOS) de qualidade de chamadas a cada 1 hora, 6 horas, 12 horas, 24 horas e uma semana.

Os valores escolhidos para as horas, foram assim definidos, por se tratar de um monitoramento de conjunto de chamadas realizadas ao longo de vários dias, não tendo uma justificativa científica para tais escolhas. Estes períodos estão definidos na configuração do *Daemon*.

Como o monitoramento será aplicado sobre as chamadas VoIP realizadas, essa diversificação da granularidade das informações oferecidas pelos períodos determinados é importante para o administrador da rede, pois, o manterá constantemente informado a respeito dos fatores observados e permitirá diferentes análises.

Para a definição dos cálculos, foi realizado um estudo de análise a respeito da variabilidade dos índices de qualidade da chamada. Para isso, analisou-se vários históricos de chamadas realizadas em diferentes horários e diferentes situações, como, por exemplo, chamadas ocorridas dentro da própria rede e chamadas com troca de tráfego com a rede externa. Esses históricos forneciam informações pacote a pacote de voz das chamadas, o que proporcionou uma análise dos índices (*Lost*, *TooLate*, *DelayAverage*). No caso do MOS, tinha-se os valores de MOS da chamada, a cada mudança de perdas de pacotes em *burst* ou perdas de pacotes em *gap*.

Após analisar diversas chamadas, escolheu-se para os índices *Lost* e *TooLate* a medida de Percentagem; para *DelayAverage* a estatística Média Aritmética e para o MOS as medidas Máximo e Mínimo e a estatística Mediana. A seguir serão apresentadas cada uma das equações que representam esses cálculos configurados no *Daemon*.

Apesar do nome do módulo que está sendo descrito ser *Daemon* Estatístico, isto não significa que os cálculos utilizados sejam exclusivamente estatísticos. Vale ressaltar que Percentagem, Máximo e Mínimo não são cálculos estatísticos e sim cálculos de medida, pois estatísticas são representações matemáticas de um conjunto extraído de uma população observada. Porém, neste trabalho não foi feita essa distinção para a escolha do nome deste módulo, cuja função é realizar cálculos que melhor representem as informações a serem monitoradas.

Para *Lost* e *TooLate*, optou-se pela percentagem por representar uma proporção em

relação a um total, que neste caso são as perdas ou descartes de pacotes sobre o total de pacotes transmitidos. O cálculo da percentagem de *Lost* (perdas dos pacotes na rede) está representado na equação 4.1:

$$PLP_{\mu} = \frac{\sum_{\lambda \in PER_{\mu}} QL_{\lambda}}{\sum_{\lambda \in PER_{\mu}} QPEC_{\lambda}} \quad (4.1)$$

em que,

μ : índice para designar o período (1 hora, 6 horas, 12 horas 24 horas e 1 semana) em que o *daemon* irá realizar os cálculos.

λ : índice para designar as chamadas.

PLP_{μ} : Percentagem de *Lost* no Período μ , ou seja, a percentagem de pacotes perdidos na rede em um determinado período.

QL_{λ} : Quantidade de *Lost*, ou seja a quantidade de pacotes perdidos na chamada λ .

PER_{μ} : conjunto de índices de chamadas no período μ .

$QPEC_{\mu}$: Quantidade de Pacotes Enviados na Chamada λ , ou seja, $Lost_{\lambda} + Toolate_{\lambda} + TPA_{\lambda}$.

$Lost_{\lambda}$: total de pacotes perdidos em uma determinada chamada.

$Toolate_{\lambda}$: total de pacotes descartados pelo *buffer* de compensação de *jitter*.

TPA_{λ} : Total de pacotes aceitos pelo *buffer* de compensação de *jitter*.

Os dados $Lost_{\lambda}$, $Toolate_{\lambda}$ e TPA_{λ} são obtidos dos relatórios gerados pelas Ferramentas Coleta, os quais correspondem respectivamente ao *Lost*, *Toolate* e *totalPackets*.

O cálculo da percentagem de *Toolate* (pacotes descartados pelo *buffer* de compensação de *jitter*), está representado na equação 4.2:

$$PTP_{\mu} = \frac{\sum_{\lambda \in PER_{\mu}} QT_{\lambda}}{\sum_{\lambda \in PER_{\mu}} QPEC_{\lambda}} \quad (4.2)$$

em que,

PTP_{μ} : é a Percentagem de *Toolate* no Período μ , ou seja, a percentagem de pacotes descartados pelo *buffer* de compensação de *jitter* em um determinado período.

QT_{λ} : é a Quantidade de *Toolate*, ou seja a quantidade de pacotes descartados pelo *buffer* de compensação de *jitter* na chamada λ .

O uso da percentagem para representar os pacotes perdidos e descartados irá auxiliar

o administrador da rede, para que ele obtenha a informação da proporção dos pacotes de voz que não chegaram ao seu destino, nas chamadas que estão sendo realizadas nos períodos analisados.

Para o *DelayAverage* (atraso médio), foi utilizada a média aritmética pois, diante das análises, este índice apresentou poucas variações no decorrer das chamadas. Para se calcular a média do atraso, dividiu-se o somatório dos atrasos dos pacotes transmitidos em todas as chamadas pelo somatório do total de pacotes de todas as chamadas. A equação 4.3 calcula a média aritmética dos atrasos dos pacotes em cada chamada, cujo cálculo é realizado pela Ferramenta Coleta. O cálculo que o *daemon* realiza para fornecer o atraso médio dos pacotes em determinado período é apresentado na equação 4.4.

$$MAC_{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^{TPA_{\lambda}} (ATR_{\lambda}i)}{TPA_{\lambda}} \quad (4.3)$$

Logo:

$$MACP_{\mu} = \frac{\sum_{\lambda \in PER_{\mu}} (MAC_{\lambda} * TPA_{\lambda})}{\sum_{\lambda \in PER_{\mu}} (TPA_{\lambda})} \quad (4.4)$$

em que,

i: índice que identifica o pacote na chamada.

MAC_{λ} : Média dos Atrasos dos pacotes na Chamadas λ .

$MACP_{\mu}$: Média dos Atrasos das Chamadas no Período μ .

QCP_{μ} : Quantidade de Chamadas no Período μ .

ATR_{λ} : Atraso no Recebimento do i-ésimo pacote da chamada λ .

O uso da média aritmética para o atraso dos pacotes irá auxiliar o administrador da rede, para que ele obtenha a média dos atrasos de todos os pacotes de voz recebidos nas chamadas que estão sendo realizadas nos períodos analisados.

O valor do MOS ao final de uma chamada é fornecido pelo cálculo da média ponderada dos valores de MOS referentes aos períodos que compõem a chamada. Separa-se uma chamada em períodos pela mudança no comportamento das perdas dos pacotes de voz (*gap* e *burst*), como apresentado no Capítulo 3. Como o MOS já é dado por uma média, os cálculos escolhidos para representá-lo foram: mediana, máximo e mínimo, já que calcular uma média sobre outra média certamente comprometeria a representação da informação.

O máximo e mínimo representam, respectivamente, o maior e o menor valor de MOS obtidos. O maior e o menor valor de MOS são obtidos utilizando as cláusulas MAX e MIN em consultas SQL (*Structured Query Language*) solicitadas pelo *Daemon* ao Banco de Dados (B.D.). O máximo e o mínimo são definidos pelas proposições 4.5 e 4.6, respectivamente:

$$MAX_{\mu}(MOS) = \{MOS_{\alpha} | MOS_{\alpha} \geq MOS_{\lambda}, \forall \lambda \in PER_{\mu}\} \quad (4.5)$$

$$MIN_{\mu}(MOS) = \{MOS_{\beta} | MOS_{\beta} \leq MOS_{\lambda}, \forall \lambda \in PER_{\mu}\} \quad (4.6)$$

em que,

α : representa o índice de valor máximo dentro do período μ .

β : representa o índice de valor mínimo dentro do período μ .

$MAX_{\mu}(MOS)$: representa o maior valor de MOS no período μ .

$MIN_{\mu}(MOS)$: representa o menor valor de MOS no período μ .

O uso das medidas máximo e mínimo irá auxiliar o administrador da rede, para que ele obtenha o melhor e pior valor de MOS das chamadas que estão sendo realizadas nos períodos analisados.

A mediana é definida como o valor que divide os dados ordenados ao meio, ou seja, metade dos dados têm valores maiores do que a mediana, a outra metade tem valores menores do que a mediana. Em casos de amostras com número ímpar de chamadas, a mediana será calculada de acordo com a equação 4.7. Para os casos de amostras de chamadas pares, a mediana será calculada de acordo com a equação 4.8.

$$MEDIMPAR_{\mu}(MOS) = MOS_{\frac{QCP_{\mu}+1}{2}} \quad (4.7)$$

$$MEDPAR_{\mu}(MOS) = \frac{MOS_{\frac{QCP_{\mu}}{2}} + MOS_{\frac{QCP_{\mu}+1}{2}}}{2} \quad (4.8)$$

em que,

MEDIMPAR: Mediana de amostras Ímpares.

MEDPAR: Mediana de amostras Pares.

QCP_{μ} : Quantidade de Chamadas no Período μ .

O uso da mediana para representar o MOS irá auxiliar o administrador da rede, para que ele tenha uma noção geral da qualidade das chamadas que estão sendo realizadas nos períodos analisados.

O funcionamento do *Daemon* é baseado em *threads*. Para cada combinação de cálculo,

índice e período, cria-se uma *thread*. São as *threads* que realizam, uma para cada período, o cálculo aplicado ao índice de qualidade da chamada. Cada *thread* não age de modo contínuo, ela “dorme” por todo o tempo do período. Ao final desse tempo a *thread* é “acordada” para então realizar os cálculos sobre todas as chamadas que ocorreram enquanto “dormia”.

O *Daemon* foi implementado de modo a tornar flexível a manutenção da aplicação, permitindo alterar em sua configuração quais os índices, os cálculos e os períodos que se vai utilizar. A configuração é feita em XML (eXtensible Markup Language), o que facilita o trabalho de quem irá manuseá-lo. O esquema XML desse arquivo de configuração encontra-se no Apêndice A desta dissertação.

4.2.2.5 Agente

Para o desenvolvimento do agente, foi utilizado o AdventNet [AdventNet SNMP Agent Toolkit Java Edition 6. 2005], *kit* de ferramentas para a criação de agentes. Este *kit* é composto por um conjunto de ferramentas para o desenvolvimento de agentes SNMP. O desenvolvimento de agentes SNMP não se limita ao AdventNet, existem outras ferramentas, como por exemplo, o NET-SNMP. A escolha do AdventNet se deu, devida a implementação do agente ser em Java e o gerente escolhido para a aplicação de monitoramento em questão também pertencer ao *kit* de ferramentas.

O Agente aqui desenvolvido implementa uma MIB própria, denominada **MIB VOIPQOS**. Esta MIB é uma extensão do nó **experimental(3)**, como definido na árvore de objetos da SMI [Stallings 1999]. A MIB textual ou a SMI utilizada para a criação do agente foi a SMIV2 [McCloghrie, Perkins e Schoenwaelder 1999], a qual foi desenvolvida a partir da ferramenta MIB Editor. A descrição da **MIB VOIPQOS** textual encontra-se no Apêndice B desta dissertação. Com essa MIB foi gerado o Agente, utilizando-se a ferramenta MIB *Compiler*. A versão do protocolo SNMP escolhido foi a versão 3, pelos motivos apresentados na Seção 4.1.2.3.

Na Figura 4.14, **MIB VOIPQOS** é o primeiro nó da extensão, constituído de quatro tabelas, *callStatisticalTable*, *indexTable*, *statisticsTable* e *periodTable*. Todas as tabelas possuem dois objetos comuns, denominados [nometabela]*Entry* e [nometabela]*Status*, cujas funções são, respectivamente, definir linhas na tabela e permitir a alteração por meio de inserção ou remoção de um novo objeto pelo gerente, usando-se a operação *SetRequest*.

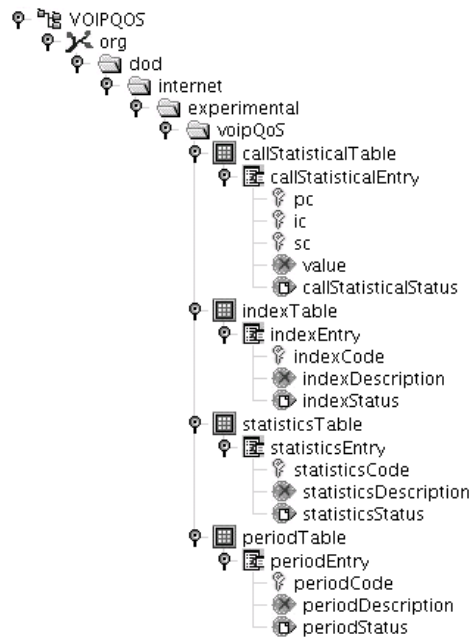


Figura 4.14: *Árvore da MIB VOIPQOS.*

Com o objetivo de tornar mais clara para o leitor a interpretação da figura da árvore MIB VOIPQOS, a tabela *callStatisticalTable* será descrita por último. Portanto, as tabelas serão descritas na seguinte ordem: *indexTable*, *statisticsTable*, *periodTable* e *callStatisticalTable*.

indexTable: este objeto é uma tabela que contém os códigos e os nomes das informações de qualidade *Lost*, *TooLate*, *DelayAverage* e MOS. Esta tabela é apresentada na Figura 4.15.

indexCode	indexDescription	indexStatus
1	Lost	1
2	TooLate	1
3	DelayAverage	1
4	MOS	1

Figura 4.15: *indexTable.*

statisticsTable: este objeto é uma tabela que contém os códigos e os nomes dos cálculos que são aplicados nas informações de qualidade (Figura 4.15). Avg está representando a média aritmética, Min está representando o mínimo, Max está representando o máximo, Med está representando a mediana e Percent está representando a percentagem. Esta tabela é apresentada na Figura 4.16.

statisticsCode	statisticsDescription	statisticsStatus
1	Avg	1
2	Min	1
3	Max	1
4	Med	1
5	Percent	1

Figura 4.16: *statisticsTable*.

periodTable: este objeto é uma tabela que contém os códigos e os nomes dos períodos em que os cálculos (Figura 4.16) são aplicados nas chamadas realizadas nestes mesmos períodos. Esta tabela é apresentada na Figura 4.17.

periodCode	periodDescription	periodStatus
1	1h	1
2	6h	1
3	12h	1
4	24h	1
5	week	1

Figura 4.17: *periodTable*.

callStatisticalTable: este objeto é uma tabela que contém os cálculos para a avaliação da qualidade das chamadas. Esta tabela está dividida em quatro colunas: **pc** (*periodcode*), **ic** (*indexcode*), **sc** (*statisticscode*) e **value**, que representam, respectivamente, os códigos dos períodos, os códigos dos índices e os códigos dos cálculos. A coluna **value** armazena o valor calculado pelo *Daemon*, equivalente ao cálculo de código **sc** aplicado sobre o índice de qualidade de código **ic** das chamadas realizadas no período de código **pc**. Esta tabela é apresentada na Figura 4.18.

pc	ic	sc	value	callStatisticalStatus
1	3	1	11669	1
2	4	2	421	1
3	4	3	441	1
4	4	4	433	1
5	1	5	0	1
1	2	5	0	1

Figura 4.18: *callStatisticalTable*.

Os valores da coluna **value** podem ser fracionários (devido aos cálculos aplicados), porém o SNMP não tem o tipo de dado primitivo *float*. Portanto, optou-se por normalizar os resultados para valores inteiros. Deste modo, os valores são multiplicados por 100, o que não infere na integridade desses valores.

A estrutura em tabelas utilizada no desenvolvimento da **MIB VOIPQOS** é um “espelho” de como as tabelas do Banco de Dados estão organizadas. Desse modo, quando o agente necessita acessar um objeto no Banco de Dados, ele busca esse objeto na tabela do B.D. correspondente à tabela da **MIB VOIPQOS**.

O modo como foi desenvolvida a árvore **MIB VOIPQOS** torna o agente “adaptável”, facilitando a manutenção dessa base de informações, pois, para qualquer alteração a respeito dos períodos, índices e cálculos, não se faz necessário alterar a estrutura da MIB, mas sim modificar a configuração do *Daemon*, por meio do arquivo XML.

4.2.2.6 Gerente

O gerente utilizado para o monitoramento da aplicação VoIP é uma ferramenta que pertence ao *Kit* do AdventNet, denominada *MIBBrowser*. Esta ferramenta é uma aplicação gráfica para gerente SNMP, a qual permite apresentar os resultados obtidos no monitoramento por meio de gráficos ou tabelas.

Inicialmente, pensou-se em utilizar o MRTG (*The Multi Router Traffic Grapher*) [Multi Router Traffic Grapher. 2005] como gerente SNMP. No entanto, esta aplicação não se apresentou adequada ao sistema, pois seu objetivo é monitorar variáveis relacionadas à vazão em enlaces de rede (*input* e *output*) e não variáveis específicas de aplicação, como é o caso do monitoramento aqui apresentado.

Pensou-se também no uso do Cacti [Cacti the complete rrdtool-based graphing solution. 2005] para a função gerente SNMP, porém essa aplicação foi descartada pela dificuldade encontrada para se configurá-la.

Para que a comunicação gerente/agente ocorra, é necessário que a MIB implementada no agente seja compilada no gerente. Desse modo, a **MIB VOIPQOS** é carregada no *MIBBrowser*. Toda a comunicação entre essas duas entidades é realizada por meio das operações *GetRequest*, *GetNextRequest* e *GetResponse*. Essas operações definem o tipo de comunicação entre gerente e agente. Para maiores detalhes, veja a Seção 4.1.2.3.

Quando o gerente necessita acessar algum objeto contido na **MIB VOIPQOS**, este o solicita ao agente por meio da operação *GetRequest* juntamente com o OID deste objeto, ou por meio da operação *GetNextRequest* para o acesso ao próximo objeto do OID fornecido. O agente, por sua vez, acessa a tabela no B.D. que contém a informação solicitada e a envia para o gerente por meio de um *GetResponse*. Após o agente retornar o objeto solicitado, a aplicação gerente apresenta a informação plotada em gráficos.

O monitoramento é uma atividade passiva de gerência de redes, ou seja, monitorar é realizar “observações” nos objetos gerenciados. Neste caso, a gerência não aplica qualquer ação sobre esses objetos. Portanto, o gerente do monitoramento aqui apresentado somente tem acesso à leitura em qualquer objeto existente na **MIB VOIPQOS**.

4.3 Conclusão

No presente capítulo, foi apresentado um cenário de um ambiente de monitoramento SNMP para uso em redes VoIP. Relatou-se os conceitos de gerência de redes dando ênfase à função de monitoramento, descreveu-se o protocolo SNMP em suas três versões e foi descrito o desenvolvimento de cada módulo apresentado no cenário. No próximo capítulo, serão apresentadas as análises dos resultados obtidos pela aplicação de monitoramento desenvolvida.

5 *Cenário dos testes e resultados alcançados*

5.1 Introdução

No presente capítulo, será apresentado o cenário dos testes que foi utilizado para validar a aplicação de monitoramento SNMP apresentada no capítulo anterior. Serão apresentados os resultados obtidos do monitoramento e a análise desses resultados por meio de gráficos.

5.2 Cenário dos testes

Para validar a aplicação de monitoramento em questão, foi utilizado um cenário de testes com três máquinas em funções distintas. Este cenário pode ser observado na Figura 5.1:

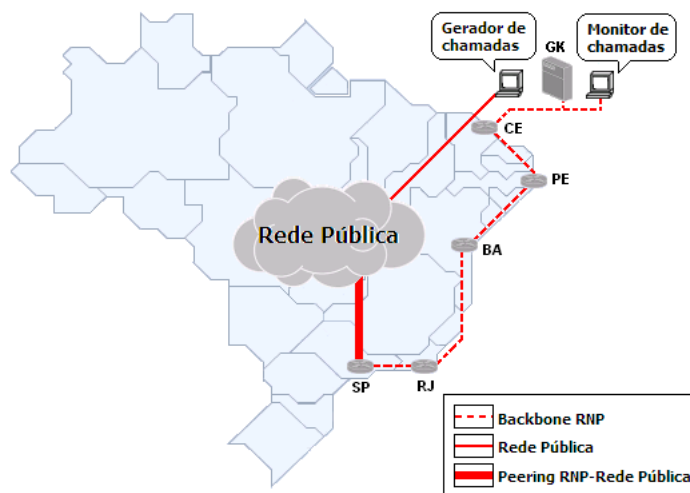


Figura 5.1: *Cenário utilizado para validar a aplicação de monitoramento.*

Gerador de chamadas: nesta máquina encontra-se instalado o *software* CallGen323, que também pertence ao grupo de projeto OpenH323 [Openh323 Project. 2003]. Este programa tem a finalidade de gerar chamadas de voz numa rede IP.

GK: o GK ou *Gatekeeper* é o responsável por estabelecer todas as chamadas VoIP entre a máquina geradora de chamadas e a máquina receptora de chamadas. Os detalhes a respeito das funcionalidades de um *Gatekeeper* foram descritos na Seção 2.3.1.

Monitor de chamadas: nesta máquina encontram-se instalados todos os módulos do cenário de monitoramento: a Aplicação VoIP, a Ferramenta Coleta, o *Daemon* Estatístico, o Agente e o Gerente. O Monitor de chamadas tem a finalidade de receber as chamadas originadas da máquina Gerador de chamadas e de realizar o monitoramento da qualidade das chamadas recebidas.

A máquina Gerador de chamadas encontrava-se instalada numa rede externa à rede da UFC, de forma que a sua conexão com a rede IP era realizada com uso da tecnologia ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*). A máquina Monitor de chamadas encontrava-se instalada no PoP-CE, Ponto de Presença da RNP no Ceará. O PoP-CE encontra-se fisicamente instalado na UFC.

Para a transmissão dos pacotes de voz no cenário apresentado na Figura 5.1, foram utilizados dois *backbones* distintos. Os pacotes que saem do Gerador de chamadas trafegam por uma rede pública (concessionária telefônica local) e, em seguida, passam pela troca de tráfego (*peering*) com uma rede IP privada. Com isso, os testes não se limitam a um laboratório totalmente controlado, já que não temos o controle em uma rede pública. Desse modo, os pacotes de voz compartilham o canal de transmissão com outros pacotes de conteúdos e comportamentos diversificados.

Para atender as necessidades dos testes, as chamadas realizadas pelo CallGen323 foram geradas a partir de um arquivo pré-gravado, o mesmo arquivo utilizado por Carvalho [Carvalho 2004] em sua dissertação de mestrado, que validou a aplicação de avaliação de qualidade da fala, por meio do Modelo E estendido e revisado.

Vale ressaltar que a avaliação da qualidade de chamadas ocorre no lado receptor da fala. Portanto, nos testes realizados, o sentido da fala ocorreu da máquina Gerador de chamadas para a máquina Monitor de chamadas.

Os testes tiveram duração de dez dias consecutivos, o que correspondeu a 240 horas, iniciando-se num dia de sábado e encerrando-se na segunda-feira da semana subsequente. A escolha do intervalo da coleta foi estratégica, pois a primeira segunda-feira dos testes

foi um dia de feriado, e esperava-se que, devido a uma menor utilização da rede, nesse dia os valores obtidos fossem diferentes dos valores obtidos em um dia de segunda-feira útil (último dia dos testes).

Nesta dissertação, tem-se como proposta a análise das chamadas VoIP realizadas a cada período de 1 hora, 6 horas, 12 horas, 24 horas e 1 semana. Porém, para validar a aplicação de monitoramento em questão, a análise dos resultados focou-se no período de 1 hora, portanto, a cada 1 hora o gerente apresentava através de gráficos o MOS máximo, o MOS mínimo, o MOS mediano, a percentagem de perdas de pacotes na rede, a percentagem de pacotes descartados pelo *buffer* de compensação de *jitter* e do atraso médio dos pacotes, das chamadas realizadas no período analisado.

Como a coleta ocorreu durante dez dias consecutivos (240 horas), a análise dos resultados do período de 1 hora apresentam gráficos com 240 pontos no plano. Porém, para as análises do período de 6 horas, teríamos apenas 40 pontos, para as análises do período de 12 horas, teríamos apenas 20 pontos, para as análises do período de 24 horas, teríamos apenas 8 pontos e finalmente para as análises de 1 semana, apenas 1 ponto no plano. O que não conseguiríamos apresentar gráficos com informações expressivas.

Os gráficos que serão apresentados na próxima Seção não são os gráficos originais gerados pela aplicação gerente SNMP *MIBBrowser*, pois as informações apresentadas nos gráficos gerados por essa aplicação não permitem uma fácil interpretação por parte do administrador da rede.

Para a visualização dos gráficos, foram utilizados os arquivos de *log* gerados pelo *MIBBrowser* durante as coletas, e estes arquivos foram transportados para uma ferramenta própria de desenhos gráficos, o Gnuplot [gnuplot homepage 2006]. Assim como a maioria dos *softwares* utilizados no desenvolvimento deste trabalho, o Gnuplot é uma ferramenta livre (gratuita) e de fácil aprendizado.

Os valores apresentados nos eixos das ordenadas de todos os gráficos foram normalizados para 100 no sistema, pois a aplicação gerente *MIBBrowser* não gera resultados a partir de valores fracionários, como visto na Seção 4.2.2.5. No entanto, nas figuras dos gráficos, os valores estão sendo apresentados na sua forma original para facilitar a compreensão da análise. Vale ressaltar ainda que, os valores apresentados nos gráficos são os valores obtidos através da aplicação de monitoramento.

Na próxima Seção, será apresentada a análise dos resultados obtidos com a aplicação de monitoramento. Serão apresentados gráficos contendo os resultados da qualidade das

chamadas fornecidos por meio do indicador de qualidade MOS e dos fatores de degradação, perdas e atrasos de pacotes de voz.

5.3 Análise dos resultados

Comentários sobre o MOS

O valor de MOS obtido pela aplicação de monitoramento é fornecido a partir do cálculo do fator R, com base no Modelo E estendido e revisado [Carvalho 2004].

Como visto na Figura 3.3 da Seção 3.3.2, um valor de MOS desejável varia entre 4,0 e 4,5, embora o valor 4,5 dificilmente seja alcançado na prática, pois, para se obter esse valor, o resultado do fator R deverá ser superior a 100, como é apresentado na expressão 3.1 do Capítulo 3. No entanto, de acordo com a recomendação G.107, o maior valor que o fator R poderá alcançar é 100.

Ainda se tratando da Figura 3.3, valores de MOS entre 3,6 e 4,0 são considerados aceitáveis e valores abaixo de 3,6 são considerados inaceitáveis.

Para um administrador de uma rede VoIP, é desejável que o valor de MOS permaneça entre 4,0 e 4,5 para as chamadas realizadas. Assim sendo, o administrador saberá que os usuários estarão satisfeitos ou muito satisfeitos com o uso da tecnologia de voz sobre IP.

De acordo com a Tabela 3.2, as chamadas em que o MOS varia entre 4,0 e 4,5 são consideradas pelos usuários como chamadas de boa qualidade ou chamadas de excelente qualidade.

Na Figura 5.2 são apresentadas as variações de valores de MOS máximo, MOS mediano e MOS mínimo para as chamadas realizadas entre as máquinas Gerador de chamadas e Monitor de chamadas, no intervalo dos dez dias consecutivos em que os testes foram realizados.

O eixo das abscissas apresenta os intervalos em horas em que os testes foram realizados. Dessa forma, o intervalo de 0 a 24 horas correspondeu a um dia de sábado, o intervalo de 24 a 48 horas correspondeu a um dia de domingo e assim sucessivamente.

Como pode ser observado a partir do gráfico da Figura 5.2, os valores de MOS mediano mantiveram-se, na maioria das chamadas, um pouco acima de 4,0. Exceto nos momentos de picos bruscos de MOS mínimo, onde chegou-se a obter um valor mínimo de MOS abaixo de 1,5. Porém, o MOS mediano se manteve próximo de 4,0 e o MOS máximo

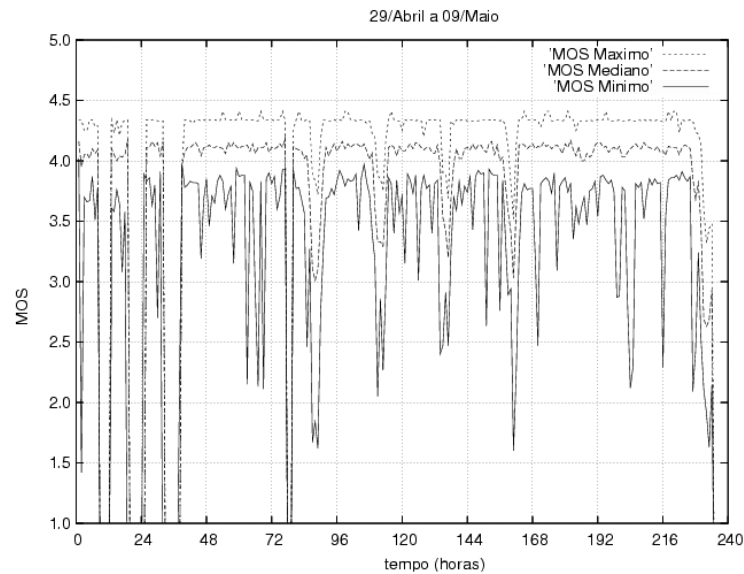


Figura 5.2: Gráfico com as estatísticas de MOS das chamadas realizadas ao longo de dez dias consecutivos.

chegou próximo de 4,5.

Um intervalo interessante a ser observado é o de 72 a 96 horas, que corresponde ao primeiro dia útil dos testes. É evidente a queda da qualidade das chamadas em um certo período do dia. Nesse intervalo, os valores de MOS mediano chegaram próximo de 3,0, o MOS máximo abaixo de 4,0 e o MOS mínimo próximo de 1,5.

No último dia de teste o que corresponde ao intervalo entre 216 e 240 horas, foi obtido um valor de MOS mediano próximo a 2,5, de forma que, de acordo com a Figura 3.3, a qualidade das chamadas foi considerada não aceitável. Ainda pode-se analisar que a quantidade de chamadas de qualidade não aceitáveis superou a quantidade de chamadas com qualidade desejável, pois os valores de MOS máximo e MOS mínimo também sofreram quedas, chegando próximos a 3,5 e 1,5, respectivamente. Esse comportamento de queda na qualidade é visível ao se comparar com os valores apresentados anteriormente, no mesmo intervalo de hora. Este dia de teste correspondeu a um dia de segunda-feira útil.

Uma outra observação importante é que os piores valores de MOS foram obtidos das chamadas realizadas no período vespertino e em dias úteis, ou seja, no momento em que normalmente, numa rede IP, pode estar havendo congestionamento dos pacotes. Isso ocorre devido ao crescimento na demanda de uso nessa rede, o que, conseqüentemente, aumenta o fluxo de pacotes.

Embora o gráfico apresente alguns picos bruscos de MOS mínimo no decorrer dos dias, os valores de MOS mediano e MOS máximo nem sempre acompanharam essa variação.

De acordo com a Figura 5.2, os valores de MOS máximo e MOS mediano ficaram no intervalo entre 4,0 e 4,5, sofrendo poucas variações no decorrer dos dias. Isso leva a crer que ocorreu um conjunto de poucas chamadas ruins em relação a um conjunto de chamadas boas a excelentes, e, ainda, essas poucas chamadas ruins quase não tiveram influência na avaliação da qualidade final das chamadas realizadas nesses períodos.

Nos dois primeiros dias, no quarto dia e no último dia, ocorreram quedas acentuadas em todos os valores de MOS. O motivo dessas quedas foi a falta de energia elétrica na rede por alguns momentos nesses dias.

Como abordado na Seção 3.3.2, o valor do fator R é o resultado dos cálculos de vários fatores que degradam a qualidade da fala como, por exemplo, perdas e atrasos dos pacotes de voz. Logo, para uma análise mais detalhada dos valores de MOS obtidos no monitoramento, é importante observar também o comportamento desses fatores.

Comentários sobre Perdas e Descarte de pacotes

Como visto nas Seção 3.2.3, as perdas e descartes de pacotes são fatores que degradam a qualidade de chamadas em voz sobre IP. Os pacotes que saem do transmissor e não chegam ao receptor são considerados perdidos. Os motivos que levam os pacotes a se perderem são: erros de transmissão, descartes pelos roteadores e pelo *buffer* de compensação de *jitter*.

No presente contexto, perdas significam os pacotes de voz perdidos na rede, ou seja, os pacotes perdidos por erros de transmissão e/ou descartes pelos roteadores (*Lost*), e descartados significam os pacotes de voz descartados pelo *buffer* de compensação de *jitter* (*TooLate*).

Segundo Carvalho em [Carvalho 2004], para que a qualidade da fala não seja afetada de modo a tornar a comunicação incompreensível, a perda de pacotes de voz (descartados e perdidos) numa conversa VoIP não deve ultrapassar 5%.

De acordo com o gráfico apresentado na Figura 5.3, no intervalo entre 0 a 24 horas, a percentagem de pacotes que não chegaram ao seu destino (pacotes perdidos e descartados) aproximou-se de 4,5%. Sendo que, a percentagem de pacotes descartados foi superior à percentagem de pacotes perdidos na rede.

Comparando o gráfico da Figura 5.3 com o gráfico da Figura 5.2, que representa os valores de MOS, fica evidente que, quando o MOS mínimo ficou abaixo de 1,5 no mesmo momento as perdas se aproximaram de 4,5%. Porém, os valores de MOS máximo e MOS mínimo ficaram acima de 4,0.

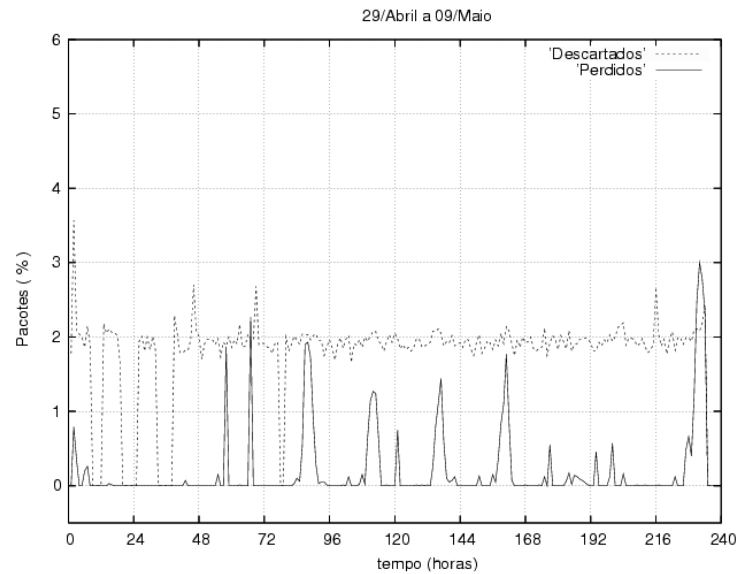


Figura 5.3: Gráfico com as porcentagens de perdas e de descarte dos pacotes de voz, das chamadas realizadas ao longo de dez dias consecutivos.

No intervalo entre 72 e 96 horas, as perdas totais (descartados e perdidos) de pacotes se prologaram em alguns instantes e se aproximaram de 4%, no mesmo momento em que todos os valores MOS tiveram uma degradação.

No intervalo entre 216 e 240, ocorreu um valor de MOS mediano abaixo de 2,5 e, no mesmo intervalo, o maior valor de porcentagem dos pacotes perdidos foi de 3%, e a porcentagem dos pacotes descartados também teve seu valor alterado para acima de 2,5%, resultando numa porcentagem de pacotes perdidos de aproximadamente 5,5%.

Assim como nos valores de MOS, os maiores valores de perdas ocorreram no período vespertino. Porém, diferente dos valores de MOS, no penúltimo dia, o que corresponde ao intervalo entre 192 e 216 horas (um dia de domingo), as perdas quase não tiveram variações, ficando próximas a 0%.

Ao se fazer uma comparação geral do gráfico de MOS com o gráfico de pacotes que não chegaram ao seu destino (descartados e perdidos), observa-se que, em todos os momentos em que houve perdas acentuadas, os valores de MOS máximo, MOS mediano e MOS mínimo também sofreram degradações. E, nos momentos em que as perdas tiveram picos esporádicos, somente o valor de MOS mínimo se degradou.

Nos dias em que ocorreram as quedas de energia, tanto os valores de pacotes descartados, quanto os valores de pacotes perdidos chegaram a 0%. Nos demais dias, observou-se que os valores de pacotes descartados tiveram poucas variações, porém mesmo não aconteceu com os valores de pacotes perdidos, cujas variações destacam-se no gráfico.

Para uma análise do comportamento dos valores do MOS, a perda de pacotes de voz é apenas um dos fatores. É importante também analisar os atrasos ocorridos na rede.

Comentários sobre Atraso

Como visto na Seção 3.2.1, o atraso também é um dos fatores responsáveis pela degradação da qualidade da fala em voz sobre IP, e de acordo com a recomendação G.114 [ITU-T 2003], o atraso total (fixo e variável) em redes IP não deve ultrapassar 150 ms para não comprometer a qualidade da comunicação.

Na Figura 5.4, o gráfico está representando os atrasos médios (*DelayAverage*) entre os pacotes de voz. Em uma determinada hora do intervalo entre 0 e 24 horas, o valor de atraso médio ultrapassou 175 ms, sendo o segundo maior valor encontrado para essa variável. Vale observar que, nesse mesmo instante, o valor de MOS mínimo chegou ao seu pior valor, ficando abaixo de 1,5 e os valores de percentagem de pacotes descartados e perdidos se aproximaram de 4,0%.

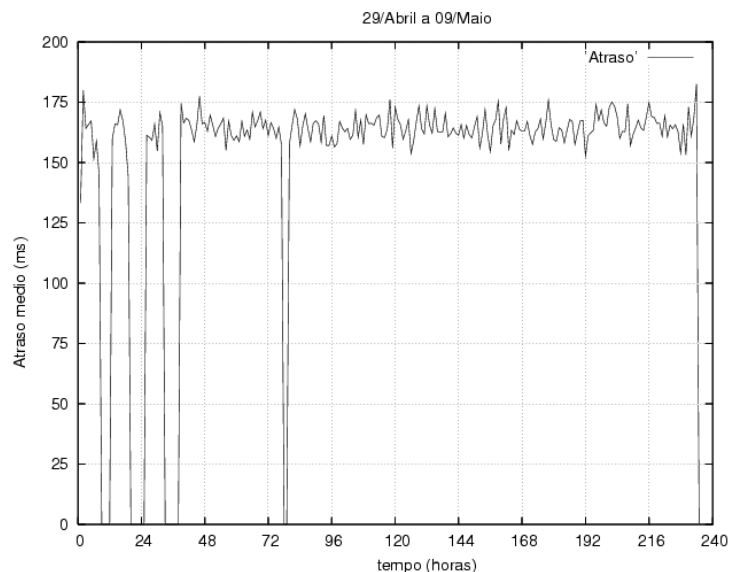


Figura 5.4: Gráfico com os atrasos médios das chamadas realizadas ao longo de dez dias consecutivos.

Assim como nos gráficos de MOS e nos gráficos dos pacotes descartados e perdidos, no intervalo entre 216 e 240 horas, o valor do atraso médio foi alterado para um valor acima do recomendado, o que vem a comprovar que tanto as perdas dos pacotes como os atrasos influenciaram no resultado do MOS mediano, do MOS mínimo e do MOS máximo. Portanto, nesse dia a qualidade da fala sofreu uma piora na avaliação da qualidade e, conseqüentemente, fez com que o serviço fosse considerado não aceitável para o administrador da rede.

No decorrer dos testes, os valores de atrasos médios se mantiveram um pouco acima do padrão recomendado, com poucas variações ao longo dos dias.

Fazendo-se uma comparação do gráfico da Figura 5.4 com o gráfico da Figura 5.2, observa-se que a maioria dos valores de MOS se mantiveram próximos a 4,0. E, nesses mesmos instantes, os valores de atrasos médios se mantiveram entre 150 ms e 175 ms. Diante desse quadro, conclui-se que, na prática, os atrasos médios ocorridos nesse intervalo quase não depreciaram a qualidade das chamadas.

Assim como nos demais gráficos apresentados até o presente momento, os atrasos médios também tiveram valores iguais a 0 ms, nos momentos em que faltou energia elétrica na rede. Isso vem a demonstrar que a aplicação se comportou de acordo com o funcionamento da rede.

Ao se fazer uma comparação geral entre os gráficos das Figuras 5.2, 5.3 e 5.4, observa-se que, dos fatores de degradação (pacotes perdidos na rede, pacotes descartados pelo *buffer* de compensação de *jitter* e pacotes atrasados), o fator que mais degradou a qualidade das chamadas realizadas ao longo do período de teste foram as perdas de pacotes na rede.

As três figuras anteriores apresentam o monitoramento realizado ao longo de dez dias consecutivos, porém, pode ser que o administrador da rede queira se manter informado diariamente e de modo mais preciso. Portanto, a partir de agora as figuras irão mostrar gráficos que correspondem a um dia de monitoramento, ou seja, um intervalo de 24 horas.

Na Figura 5.5, os três gráficos ilustram o monitoramento realizado no terceiro dia, o que corresponde ao intervalo de 48 a 72 horas dos gráficos já analisados.

Para que os gráficos apresentassem informações a cada período de uma hora, o gerente recebia do agente um conjunto de informações armazenadas na base de dados referente a esse período. Portanto, a coleta acontecia ao final de cada hora do dia, o que justifica a ausência de informações no intervalo de 0 a 1 hora.

No gráfico da Figura 5.5(a), que representa as informações de MOS, observa-se que os valores de MOS mediano e MOS máximo sofreram poucas variações, encontrando-se acima de 4,0. O mesmo não aconteceu com o MOS mínimo, que obteve algumas quedas, chegando a valores próximos de 2,0. No entanto, de acordo com a Figura 3.3, chamadas realizadas nesse período seriam consideradas de qualidade desejável.

Os atrasos ilustrados na Figura 5.5(b) se mantiveram entre 150 ms e 175 ms durante todo o dia, sofrendo poucas variações e quase não influenciando na degradação da qualidade das chamadas.

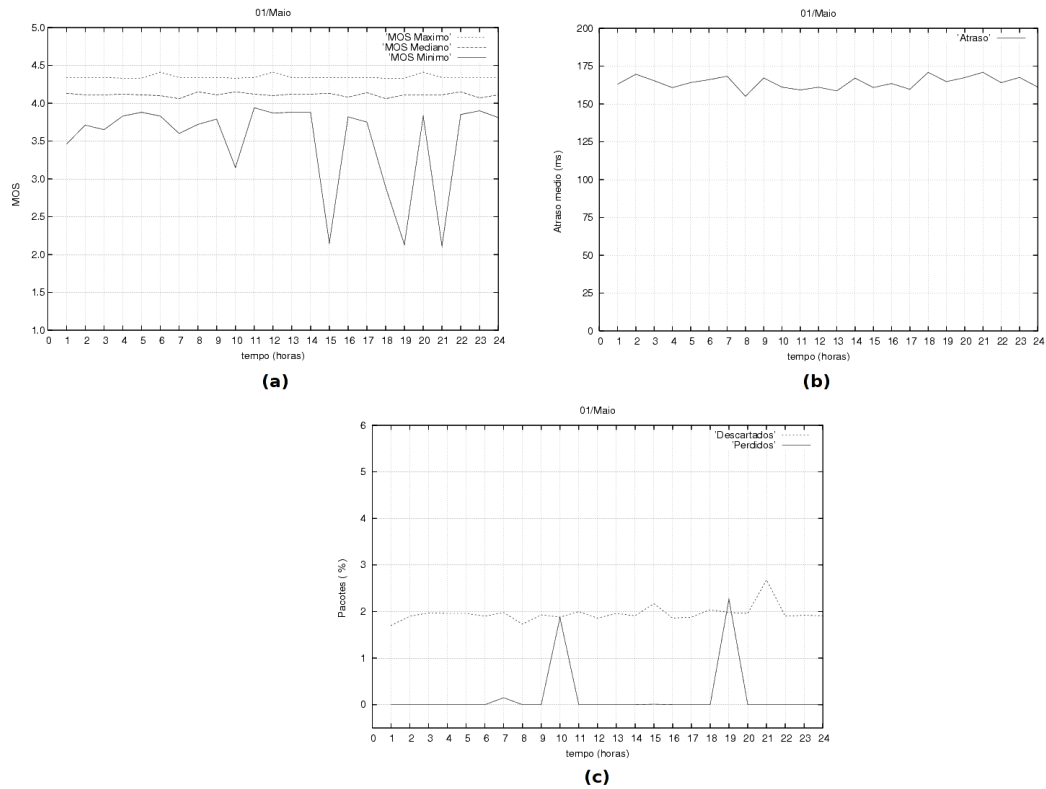


Figura 5.5: Gráficos das chamadas realizadas no intervalo entre 48 e 72 horas. (a) MOS (b) Atraso médio (c) Pacotes descartados e perdidos.

No gráfico da Figura 5.5(c), que representa as informações de pacotes que não chegaram ao seu destino, as percentagens totais (descartados e perdidos) foram próximas a 4%, nos intervalos de 9 a 11 horas e de 18 a 20 horas. Nesses intervalos ocorreram as maiores taxas de perdas de pacotes na rede, enquanto que os maiores picos de pacotes descartados ocorreram nos intervalos de 14 a 16 horas e de 20 a 22 horas.

Fazendo-se uma comparação entre os três gráficos, pode-se observar que, nos momentos em que ocorreram os maiores valores de percentagem de perdas de pacotes, os valores de MOS mínimo também tiveram seus valores bruscamente decrementados. Os valores de atrasos tiveram poucas variações e se mantiveram próximos ao valor recomendado. O mesmo aconteceu com os valores de MOS máximo e MOS mediano.

Diante de uma análise dos três gráficos, conclui-se que as perdas de pacotes na rede (que provavelmente aconteceram em rajadas), tiveram grande influência nos valores bruscos de MOS mínimo. Conclui-se ainda que, como o atraso se manteve quase que constante e as perdas aconteceram em alguns momentos esporádicos, a quantidade de chamadas de qualidade desejável superou a quantidade de chamadas de qualidade não aceitável, como apresenta a curva de MOS mediano, que se manteve acima de 4,0 durante as 24 horas.

Uma importante observação, no que se refere aos resultados apresentados na Figura 5.5, é que o dia analisado correspondeu a uma segunda-feira de feriado, logo, pode-se deduzir que nesse dia a rede encontrava-se pouco congestionada.

Voltando ao gráfico da Figura 5.2, um outro intervalo interessante para se fazer uma análise é o de 72 a 96 horas, pois esse intervalo corresponde ao primeiro dia útil dos testes. Na Figura 5.6, serão apresentados os gráficos que correspondem a esse intervalo.

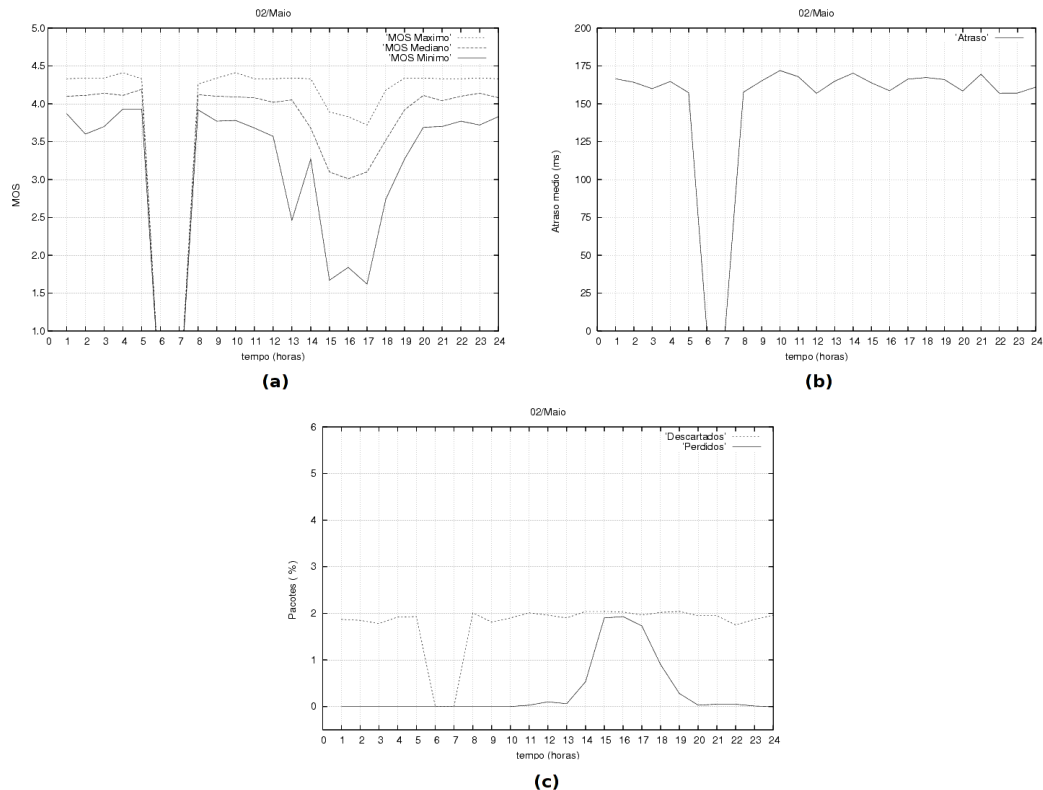


Figura 5.6: Gráficos das chamadas realizadas no intervalo entre 72 e 96 horas. (a) MOS (b) Atraso médio (c) Pacotes descartados e perdidos.

Nos três gráficos apresentados na Figura 5.6, nota-se que entre 6 a 7 horas ocorreu novamente uma queda nos valores. Esse comportamento se deve a uma queda de energia na máquina Gerador de chamadas.

De acordo com o gráfico da Figura 5.6(a), no intervalo entre 13 a 20 horas, a qualidade das chamadas foi claramente degradada, sendo que as chamadas realizadas por volta de 16 horas foram as piores do dia, chegando a um MOS mediano de aproximadamente 3,0, ou seja, chamadas cujas qualidades são consideradas inaceitáveis.

Como ilustrado no gráfico apresentado na Figura 5.6(b), considerando o mesmo intervalo analisado no parágrafo anterior, as perdas dos pacotes que não chegaram ao seu destino foram de aproximadamente 5%. E os atrasos médios apresentados pelo gráfico da

Figura 5.6(c), mais uma vez se mantiveram praticamente constantes, dentro do intervalo de 150 ms a 175 ms.

Portanto, as conclusões encontradas na análise da Figura 5.5 se confirmam na análise da Figura 5.6, no que se refere a dizer que os piores valores de MOS aconteciam nos momentos de maiores perdas de pacotes na rede.

Na Figura 5.7, os três gráficos ilustram o monitoramento realizado no intervalo de 192 a 216 horas, o que corresponde ao último dia de coleta de chamadas. Este dia foi uma segunda-feira (dia útil).

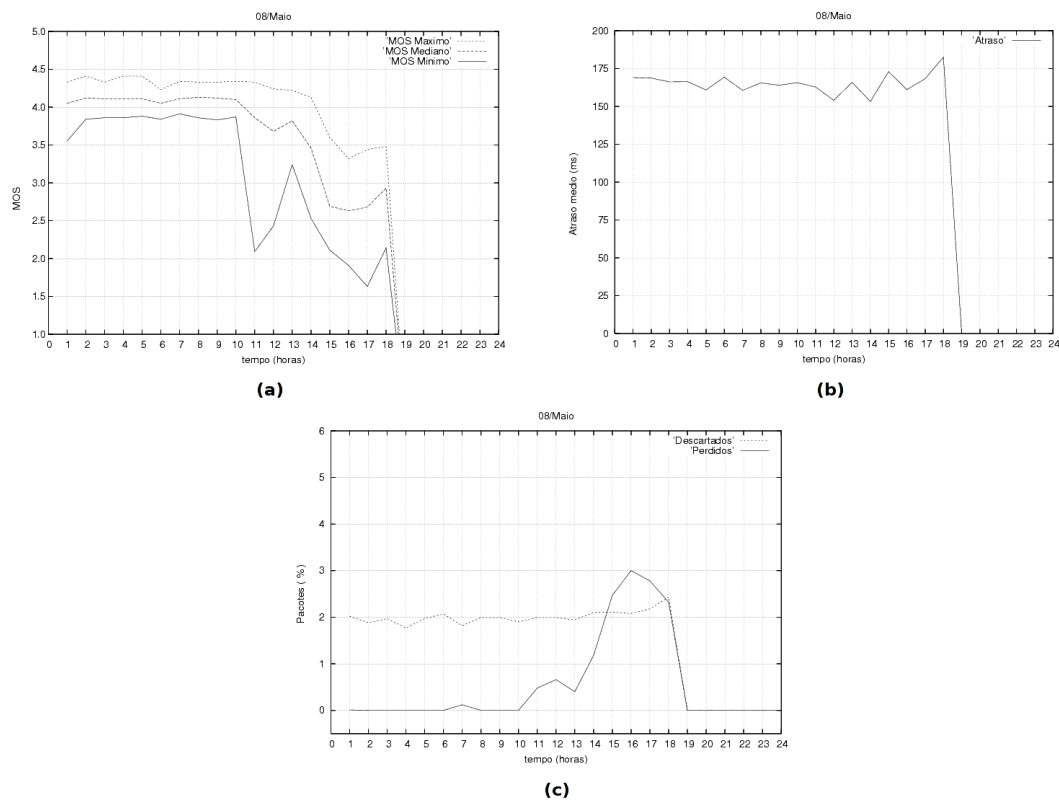


Figura 5.7: Gráficos das chamadas realizadas no intervalo entre 192 e 216 horas. (a) MOS (b) Atraso médio (c) Pacotes descartados e perdidos.

As chamadas realizadas até às 10 horas obtiveram resultados de qualidade consideradas desejáveis, como podem ser observados no gráfico da Figura 5.7(a), porém, a qualidade das chamadas realizadas após esse horário foi se degradando. De acordo com o gráfico apresentado na Figura 5.7(c), é notável o aumento das perdas de pacotes na rede a partir das 13 horas, assim como uma variação um pouco mais acentuada no atraso médio, apresentado na Figura 5.7(b).

No intervalo entre 13 e 19 horas as chamadas tiveram sua qualidade altamente de-

gradada. Os valores de MOS tiveram uma acentuada degradação, o MOS mediano se aproximou de 2,5, o MOS máximo esteve próximo a 3,6 e o MOS mínimo chegou próximo de 1,2. A percentagem de pacotes que não chegaram ao seu destino se aproximou de 5%, onde 3% foram os pacotes perdidos na rede, e o atraso médio dos pacotes chegou a ultrapassar os 175 ms.

Por volta de 18 horas os valores de MOS começaram a aumentar, as perdas se decrementaram e o atraso teve um certo aumento, porém, pouco significativo, pois não influenciou na degradação dos valores de MOS.

Diante dos gráficos observados, certificou-se que os fatores de degradação analisados auxiliaram na compreensão da análise do MOS das chamadas. As perdas na rede apresentaram maior influência na degradação dos valores de MOS do que os atrasos médios. As variações dos atrasos médios se comportaram de modo quase que uniforme.

Os períodos relativos ao dia (matutino, vespertino e noturno) também influenciaram na análise, pois as maiores variações ocorreram no período vespertino. Numa rede comercial, as pessoas costumam fazer uso da rede IP com maior frequência no período da tarde. Desse modo, pode-se concluir que a demanda do uso da rede IP afeta a qualidade final das chamadas em voz sobre IP. Isso porque, quanto mais usuários utilizarem a rede, mais recursos serão consumidos, e conseqüentemente, ocorrerão mais perdas, descartes e atrasos de pacotes.

5.4 Conclusão

A conclusão que se chega é que uma aplicação de monitoramento que proporcione a um administrador de redes VoIP o acompanhamento da qualidade das chamadas e dos fatores que influenciam nessa qualidade é um instrumento de grande auxílio. A partir das análises das informações recebidas, o administrador poderá tomar atitudes com o objetivo de melhorar a qualidade da sua rede. Por exemplo, poderá aumentar a largura de banda ou ainda usar políticas de filas nos roteadores para priorizar os pacotes de voz. Essas ações minimizarão os problemas de perdas, descartes e atrasos dos pacotes de voz e, conseqüentemente, aumentarão a qualidade do serviço.

6 Conclusões

6.1 Considerações Finais

Nesta dissertação foi desenvolvida uma aplicação de monitoramento com base no protocolo de gerência SNMP que auxilia um administrador de redes a saber como está a qualidade das chamadas em voz sobre IP, realizadas na sua rede. Essa aplicação tanto fornece o resultado da qualidade final das chamadas VoIP quanto apresenta o resultado do comportamento dos fatores (perdas e atrasos) que degradam a qualidade das chamadas. Desse modo, o administrador da rede obtém, por meio de medições, uma estimativa da satisfação dos usuários, no que se refere à qualidade do serviço. E obtém também parâmetros que sinalizam o que poderá estar contribuindo para a degradação da qualidade das chamadas.

Embora existam ferramentas para monitorar e avaliar a qualidade em chamadas VoIP, a aplicação aqui proposta e desenvolvida tem suas relevâncias. A primeira é a utilização do protocolo de gerência SNMP, cujo modelo inspirou o desenvolvimento de parte do cenário da aplicação, pois o SNMP é um protocolo com base no modelo gerente/agente.

A segunda é a facilidade na manutenção das informações contidas na **MIB VOIPQOS**, pois qualquer alteração a ser realizada será feita na configuração do *Daemon* Estatístico. Com isso, a estrutura da **MIB VOIPQOS** permanece a mesma, independente dos cálculos, períodos ou informações definidas para o monitoramento.

A terceira é que algumas informações utilizadas para o cálculo do Modelo E estendido e revisado foram obtidas na aplicação VoIP a partir dos protocolos de transporte RTP/RTCP. E os protocolos de sinalização H.323 ou SIP utilizam esses protocolos para transportar a mídia. Isso faz com que a aplicação de monitoramento seja independente dos protocolos de sinalização H.323 ou SIP.

No primeiro capítulo, foram apresentadas as motivações e os objetivos deste trabalho. Um dos pontos chave para o crescimento do VoIP é o baixo custo que essa tecnologia

oferece na comunicação. Uma outra questão que merece atenção é que a rede IP não foi projetada para o transporte de dados em tempo real e isso impulsiona as pesquisas em medições e controle da qualidade da fala nas chamadas VoIP. O monitoramento para avaliação da qualidade das chamadas em voz sobre IP é uma função de gerência de redes que tem como objetivo tentar garantir a qualidade das chamadas.

Conhecer as entidades que fazem parte da arquitetura de uma rede VoIP e como os pacotes de voz são transportados na rede IP é fundamental para se compreender o funcionamento da tecnologia de voz sobre IP. Foi a partir desses pontos que no Capítulo 2 foi apresentado um estudo a respeito dos protocolos de transporte de mídia e dos dois protocolos de sinalização mais conhecidos em VoIP.

No Capítulo 3, foram abordados os fatores que influenciam no comportamento dos pacotes de voz na rede IP. Abordou-se também os métodos utilizados para avaliar a qualidade da fala em sistemas de telefonia. Esse estudo proporcionou uma visão geral a respeito de qualidade da fala em voz sobre IP, e principalmente permitiu reconhecer os limites e dificuldades encontrados quando pretende-se fornecer um serviço VoIP com qualidade para os usuários.

No Capítulo 4, foram apresentadas as funcionalidades e a implementação de cada módulo do cenário, utilizado para o desenvolvimento da aplicação de monitoramento, proposto nessa dissertação. Apresentou-se também os conceitos de gerência com base no protocolo SNMP.

No Capítulo 5, foi descrito o cenário utilizado para validar a aplicação de monitoramento desenvolvida nessa dissertação e a análise dos resultados obtidos por meio de gráficos.

A conclusão a que se chega nesse trabalho, diante das análises dos gráficos apresentados no Capítulo 5, é que os pacotes perdidos na rede (*lost*) e os pacotes descartados pelo *buffer* de compensação de *jitter* (*toolate*) foram os fatores que mais influenciaram na degradação da qualidade das chamadas realizadas nos testes. Seria interessante um estudo mais aprofundado do comportamento desses fatores e principalmente do atraso. Pois, apesar da qualidade das chamadas terem sido consideradas relativamente desejáveis na maioria dos intervalos analisados, ocorreram momentos de baixa qualidade, em que, o valor do atraso não acompanhou essa degradação conforme o esperado.

6.2 Dificuldades Encontradas

Como dificuldades, podemos mencionar a definição dos cálculos necessários para obter a melhor representação dos fatores (perdas e atrasos) que degradam a qualidade da fala em voz sobre IP e do fator (MOS) que representa a qualidade final de uma chamada VoIP. Para tanto, foi necessário um estudo a respeito do comportamento desses fatores na rede IP, para se determinar quais seriam os cálculos mais adequados, no que se refere a representar esses fatores.

Uma outra dificuldade foi a escolha do *software* gerente SNMP, pois inicialmente pensou-se em usar uma aplicação comercial existente, mas encontramos dificuldades na configuração de suas ferramentas. Assim, optou-se em usar o gerente nativo do AdvenNet, o *MIBBrowser*. Porém, o mesmo não representou os gráficos de modo satisfatório, fazendo com que pesquisássemos ferramentas para a geração dos gráficos. Desse modo, por fim utilizamos o Gnuplot para ilustrar os gráficos da aplicação de monitoramento, a partir dos arquivos de *log* fornecidos por meio das consultas SNMP do *MIBBrowser* ao Agente.

6.3 Trabalhos Futuros

A aplicação de monitoramento desenvolvida nesta dissertação pode ser aplicada em diversos trabalhos, tal como o desenvolvimento de uma *baseline* que mantenha as métricas toleráveis para os fatores que degradam a qualidade das chamadas VoIP, afim de proporcionar à aplicação, uma gerência pró-ativa com emissão de alarmes. Desse modo, o administrador da rede teria condições de tomar decisões antecipadas para tentar impedir a degradação total da qualidade das chamadas.

Outro possível trabalho futuro, seria o monitoramento dos dispositivos envolvidos na rede como, por exemplo, monitorar o funcionamento dos roteadores, e *gateways* com o objetivo de saber até que ponto esses equipamentos estão influenciando na degradação da qualidade das chamadas.

Um outro trabalho seria o desenvolvimento de um gerente *Web* que forneça um monitoramento personalizado e flexível, facilitando a tarefa do administrador da rede, pois ele poderá ter acesso às informações monitoradas em qualquer máquina conectada à Internet. E com a geração de vários modelos de gráficos será possível obter diversos modos de visualização das informações.

A implantação de *softphone* SIP proporcionaria uma interoperabilidade dos protocolos

de sinalização no cenário, provendo o usuário com opções de escolha do programa a ser utilizado para realizar suas chamadas VoIP.

E por fim, um trabalho interessante a ser desenvolvido é a realização de análises estocásticas dos fatores que degradam a qualidade das chamadas VoIP, como por exemplo, o uso da média móvel para representar o atraso.

Referências

- ADVENTNET SNMP Agent Toolkit Java Edition 6. 2005. Disponível em: <http://www.AdventNet.com/products/javaagent/> Acesso em fevereiro de 2005.
- ARANGO A. DUGAN, I. E. C. H. S. P. M. *Media Gateway Control Protocol (MGCP)*. outubro 1999. IETF - RFC 2705. Disponível em: <http://http://www.ietf.org/rfc/rfc2705.txt?number=2705> Acesso em julho de 2003.
- BALBINOT, R. et al. *Voz sobre IP - Tecnologia e Tendências*. 2003. Minicurso, SBRC03 XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Natal - RN, Brasil, maio de 2003. p.321-363.
- CACTI the complete rrdtool-based graphing solution. 2005. Disponível em: <http://www.cacti.net/> Acesso em setembro de 2005.
- CARVALHO, E. V. *Gerenciamento Pró-Ativo Distribuído baseado em Lógica Difusa*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará (UFC), novembro 1999.
- CARVALHO, L. S. G. *Implementação do Modelo E para Avaliação Objetiva da Qualidade da fala em Redes de Comunicação VoIP*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Amazonas (UFAM), setembro 2004.
- CASE, J. et al. *A Simple Network Management Protocol (SNMP)*. maio 1990. IETF - RFC 1157. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1157.txt> Acesso em abril de 2004.
- CLARK, A. D. *Modeling the Effects of Burst Packet Loss and Recency on Subjective Voice Quality*. 2001. IEEE. Columbia University IP - Telephony Workshop, USA.
- COLE, R. G.; ROSENBLUTH, J. H. *Voice over IP Performance Monitoring*. 2001. AT&T Laboratories. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol 31, issue 2.
- DARPA, D. A. R. P. A. *Internet Protocol (IP)*. setembro 1981. IETF - RFC 791. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc0791.txt> Acesso em abril de 2003.
- DARPA, D. A. R. P. A. *Transmission Control Protocol (TCP)*. setembro 1981. IETF - RFC 793. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc0793.txt> Acesso em abril de 2003.
- DAVID, F. *Ferramentas de Monitoração Ativa e Passiva para Avaliação da Qualidade de Redes VoIP*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), setembro 2003.
- DOUSKALIS, B. *IP Telephony the Integration of Robust VoIP Service*. Upper Saddle River, NJ 07458: Hewlett-Packard Company, 2000.

ETSI TS 101 329-5 v1.1.1. 2000. France, novembro de 2000.

ETSI TS 101 329-5 v1.1.2. 2002. France, janeiro de 2002.

ETSI TS 102 024-5 v4.1.1. 2003. France, setembro de 2003.

GNUPLOT homepage. 2006. Disponível em: <http://www.gnuplot.info/> Acesso em setembro de 2005.

GROUP, P. *Estimating E-model Id within a VoIP Network*. 2002. Psytechnics Technical note. United Kingdom, 2002. 4p.

HERSENT, O.; GUIDE, D.; P.J., P. *Telefonia IP Comunicação Multimídia Baseada em Pacotes*. São Paulo: Addison-Wesley, 2002.

HUANG, C.-C.; CHAO, C.-S.; LIU, A.-C. *A Distributed Management Framework for H.323-Based VoIP System*. 2001. Information Engineering Department, Feng Chia University. Taichung, Taiwan 407, ROC.

ITU-T. *Recommendation. P.59. Artificial conversational speech*. março 1993.

ITU-T. *Recommendation. P.800. Methods for subjective determination of transmission quality*. novembro 1996.

ITU-T. *Recommendation. G.108. Application of the E-model: A planning guide*. setembro 1999.

ITU-T. *Recommendation. H.323. Packet-based multimedia communications systems*. maio 1999.

ITU-T. *Recommendation. H.341. Multimedia management information base*. maio 1999.

ITU-T. *Recommendation. H.248. Gateway Control Protocol*. junho 2000.

ITU-T. *Recommendation. G.113. Transmission impairments - Appendix I: Provisional planning values for the equipment impairment factor I_e and packet-loss robustness factor B_{pl}* . maio 2002.

ITU-T. *Recommendation. H.248. Gateway Control Protocol*. março 2002.

ITU-T. *Recommendation. G.107. The E-Model, a computational model for use in transmission planning*. março 2003.

ITU-T. *Recommendation. G.114. One-way transmission time*. maio 2003.

ITU-T. *Recommendation. P.800.1. Mean Opinion Score (MOS) terminology*. março 2003.

JAVA 2 Platform Standard Edition 5.0 SDK. 2005. Disponível em <http://java.sun.com/j2se/1.5.0/download.jsp> Acesso em Junho de 2005.

JDBC Technology. 2005. Disponível em: <http://java.sun.com/products/jdbc/> Acesso em Fevereiro de 2005.

- KOSTAS, T. J. et al. *Real-Time Voice Over Packet-Switched Networks*. 1998. IEEE Network. Vol.12 n.1 USA jan/fev 1998. p.18-27.
- KUROSE, J.; ROSS, K. *Redes de Computadores e a Internet Uma nova abordagem*. São Paulo: Addison-Wesley, 2003.
- LIMA, A. F. M. d. et al. *An E-Model Implementation for Speech Quality Evaluation in VoIP Systems*. 2005. ISCC2005, 10th IEEE Symposium on Computers and Communications. IEEE Computer SocietyCartagena - Murcia, Espanha. june 2005. p.933-938.
- LIMA, A. F. M. d. et al. *VoIP Management Using Extended ITU-T H.341 MIB Objects for Monitoring the Speech QoS*. 2005. 12th International Conference on Telecommunications - ICT2005. CapeTown, África do Sul. maio 2005.
- LIMA, A. F. M. d. et al. *Monitoramento baseado em análise estatística para avaliação da qualidade da fala em um ambiente de voz sobre IP*. 2005. LANOMS2005, 4th Latin American Network Operations and Management Symposium. Porto Alegre - RS, Brasil, agosto 2005. p.151-162.
- LIMA, A. F. M. d. et al. *Monitoramento baseado em análise estatística para avaliação da qualidade da fala em um ambiente de voz sobre IP*. 2005. SBRC2005, WGRS 10 Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços. Fortaleza - CE, Brasil, maio 2005. p.21-32.
- LUSTOSA, L. C. G. et al. *Utilização do Modelo E para avaliação da qualidade da fala em sistemas de comunicação baseados em voz sobre IP*. 2004. SBRC2004, XXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Gramado - RS, Brasil, maio 2004. p.603-616.
- LUSTOSA, L. C. G. et al. *Arquitetura de Monitoração de Qualidade de Chamadas Telefônicas IP*. 2005. SBRC2005, XXIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Rio de Janeiro - RJ, Brasil, maio 2005.
- MARKOPOULOU, A.; TOBAGI, F.; KARAM, M. &. *Assessment of VoIP Quality over Internet Backbones*. junho 2002. New York, USA.
- MAURO, D. R.; KEVIN, J. S. *SNMP Essencial*. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- MCCLOGHRIE, K.; PERKINS, D.; SCHOENWAELDER, J. *Textual Conventions for SMIPv2*. abril 1999. IETF - RFC 2579. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2579.txt> Acesso em fevereiro de 2005.
- MULTI Router Traffic Grapher. 2005. Disponível em: <http://people.ee.ethz.ch/oetiker/webtools/mrtg/> Acesso em: março de 2006.
- MYSQL. 2005. Disponível em <http://www.mysql.org/> Acesso em Junho de 2005.
- OPENH323 Project. 2003. Disponível em: <http://www.openh323.org/> Acesso em março de 2005.
- PAVLOU, G. et al. *On Management Technologies and the Potential of Web Services*. 2004. IEEE Communications Magazine, julho de 2004.

PEIXOTO, J. C. A. *Implementação e Gerência de uma Arquitetura de Voz sobre IP*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), setembro 2003.

POSTEL, J. *User Datagram Protocol (UDP)*. agosto 1980. IETF - RFC 768. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc0768.txt> Acesso em abril de 2003.

RIBEIRO, B. F. M.; RODRIGUES, P. H. d. A.; MARCONDES, C. A. C. *Implementação de Gateway de Sinalização entre Protocolos de Telefonia IP SIP/H.323*. 2001. SBRC2001, XIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Florianópolis - SC, Brasil, maio 2001. p. 574-589.

ROCHA, A. R. *Uma extensão da Script MIB para Limitação de Recursos em Gerência Distribuída SNMP*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará (UFC), agosto 2004.

ROSENBERG, J. et al. *SIP: Session Initiation Protocol*. junho 2002. IETF - RFC 3261. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt> Acesso em junho de 2005.

SCHULZRINNE, H. et al. *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*. julho 2003. IETF - RFC 3550. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt> Acesso em outubro de 2004.

STALLINGS, W. *SNMP, SNMPv2, SNMPv3, and RMON 1 and 2*. 3. ed. Massachusetts: Addison-Wesley, 1999.

USE Case Maps Virtual Library. 1999. Disponível em: <http://www.usecasemaps.org/pub/index.shtml>. Acesso em setembro de 2005.

*APÊNDICE A - XML Schema da
Configuração do Daemon*

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" elementFormDefault="qualified">
  <xs:element name="class" type="xs:string"/>
  <xs:element name="collector">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="fields"/>
        <xs:element ref="statistic" maxOccurs="unbounded"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="collectors">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="collector" maxOccurs="unbounded"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="daemonconfig">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="database"/>
        <xs:element ref="periods"/>
        <xs:element ref="statistics"/>
        <xs:element ref="collectors"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="database">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="jdbcDriver"/>
        <xs:element ref="url"/>
        <xs:element ref="user"/>
        <xs:element ref="password"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="field">
    <xs:complexType>
      <xs:attribute name="name" type="xs:string" use="required"/>
      <xs:attribute name="col" use="required" type="xs:integer"/>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="fields">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="field" maxOccurs="unbounded"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="jdbcDriver" type="xs:string"/>
  <xs:element name="password" type="xs:string"/>
  <xs:element name="period">
    <xs:complexType>
      <xs:attribute name="name" type="xs:string" use="required"/>
      <xs:attribute name="milliseconds" use="required" type="xs:float"/>
      <xs:attribute name="code" use="required" type="xs:integer"/>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="periods">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="period" maxOccurs="unbounded"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>

```

```

<xs:element name="statistic">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="class" minOccurs="0"/>
    </xs:sequence>
    <xs:attribute name="name" use="required">
      <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:NMTOKEN">
          <xs:enumeration value="Avg"/>
          <xs:enumeration value="Max"/>
          <xs:enumeration value="Med"/>
          <xs:enumeration value="Min"/>
          <xs:enumeration value="Percent"/>
        </xs:restriction>
      </xs:simpleType>
    </xs:attribute>
    <xs:attribute name="desc" type="xs:string"/>
    <xs:attribute name="code" type="xs:string"/>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="statistics">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="statistic" maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="url" type="xs:string"/>
<xs:element name="user" type="xs:string"/>
</xs:schema>

```

*APÊNDICE B - Especificação da MIB
VoIPQOS*

```

-MIB VoIP
-File Name:VoIPQoS.mib

VOIPQOS DEFINITIONS ::= BEGIN
IMPORTS
RowStatus, DisplayString, DateAndTime
FROM SNMPv2-TC
DisplayString
FROM RFC1213-MIB
experimental, MODULE-IDENTITY, OBJECT-TYPE, Integer32, enterprises
FROM SNMPv2-SMI;
voipQoS MODULE-IDENTITY
LAST-UPDATED "200502061709Z"
ORGANIZATION "UFC - Universidade Federal do Ceará"
CONTACT-INFO "Ana Flávia Marinho de Lima"
Mestranda em Engenharia de Teleinformática.
Departamento de Engenharia de Teleinformática..
Caixa Posta 6007 CEP 60.755-640
Fone: +55 85 4008-9467
Fax: +55 85 4008-9468
Campus do Pici - Fortaleza - CE - Brasil

DESCRIPTION "Esta MIB contém informações de qualidade da fala em voz sobre
IP,"
REVISION "200502281457Z"
DESCRIPTION ""
::= experimental 1
org OBJECT IDENTIFIER
::= iso 3
dod OBJECT IDENTIFIER
::= org 6
internet OBJECT IDENTIFIER
::= dod 1
experimental OBJECT IDENTIFIER
::= internet 3
private OBJECT IDENTIFIER

```

```

 ::= internet 4
 enterprises OBJECT IDENTIFIER
 ::= private 1
 callStatisticalTable OBJECT-TYPE
 SYNTAX SEQUENCE OF CallStatisticalEntry
 MAX-ACCESS not-accessible
 STATUS current
 DESCRIPTION "Este objeto é uma tabela que contém as informações monitoradas para
 avaliação da qualidade das chamadas."
 ::= voipQoS 1
 callStatisticalEntry OBJECT-TYPE
 SYNTAX CallStatisticalEntry
 MAX-ACCESS not-accessible
 STATUS current
 DESCRIPTION "Cada entrada contém o resultado de uma determinada estatística, apli-
 cada sobre algum dos índices de qualidade, das chamadas realizadas em um determinado
 período."
 INDEX pc, ic, sc
 ::= callStatisticalTable 1
 CallStatisticalEntry ::= SEQUENCE
 pc Integer32,
 ic Integer32,
 sc Integer32,
 value Integer32,
 callStatisticalStatus RowStatus

 pc OBJECT-TYPE
 SYNTAX Integer32 ( -2147483648 .. 2147483647)
 MAX-ACCESS not-accessible
 STATUS current
 DESCRIPTION "Contém o código de um determinado período descrito na tabela
 periodTable."
 ::= callStatisticalEntry 1

```

ic OBJECT-TYPE

SYNTAX Integer32 (-2147483648 .. 2147483647)

MAX-ACCESS not-accessible

STATUS current

DESCRIPTION “Contém o código de um índice de qualidade da chamada, descrito na tabela indexTable.”

::= callStatisticalEntry 2

sc OBJECT-TYPE SYNTAX Integer32 (-2147483648 .. 2147483647)

MAX-ACCESS not-accessible

STATUS current

DESCRIPTION “Contém o código de uma determinada estatística descrita na tabela statisticsTable.”

::= callStatisticalEntry 3

value OBJECT-TYPE

SYNTAX Integer32 (-2147483648 .. 2147483647)

MAX-ACCESS read-only

STATUS current

DESCRIPTION “Contém o valor calculado.”

::= callStatisticalEntry 4

callStatisticalStatus OBJECT-TYPE

SYNTAX RowStatus active (1), notInService (2), notReady (3), createAndGo (4), createAndWait (5), destroy (6)

MAX-ACCESS read-create

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto permite ao gerente criar ou deletar linhas remotamente.”

::= callStatisticalEntry 5

indexTable OBJECT-TYPE

SYNTAX SEQUENCE OF IndexEntry

MAX-ACCESS not-accessible

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto é uma tabela que contém as descrições dos índices de qualidade de chamadas.”

::= voipQoS 2

indexEntry OBJECT-TYPE

SYNTAX IndexEntry

MAX-ACCESS not-accessible

STATUS current

DESCRIPTION “Cada entrada contém a descrição de um código de um índice de qualidade de chamadas.”

INDEX indexCode

::= indexTable 1

IndexEntry ::= SEQUENCE

indexCode Integer32,

indexDescription DisplayString,

indexStatus RowStatus

indexCode OBJECT-TYPE SYNTAX Integer32 (-2147483648 .. 2147483647)

MAX-ACCESS not-accessible

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto contém o código de um índice de qualidade de chamada, descrito no objeto indexDescription.”

::= indexEntry 1

indexDescription OBJECT-TYPE

SYNTAX DisplayString (SIZE(0 .. 255))

MAX-ACCESS read-only

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto contém a descrição de um índice de qualidade de chamadas.”

::= indexEntry 2

indexStatus OBJECT-TYPE

SYNTAX RowStatus active (1), notInService (2), notReady (3), createAndGo (4), createAndWait (5), destroy (6)

MAX-ACCESS read-create

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto permite ao gerente criar ou deletar linhas remotamente.”

::= indexEntry 3

statisticsTable OBJECT-TYPE

SYNTAX SEQUENCE OF StatisticsEntry

MAX-ACCESS not-accessible

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto é uma tabela que contém as descrições das estatísticas a serem aplicadas sobre os índices de qualidade de chamadas.”

::= voipQoS 3

statisticsEntry OBJECT-TYPE

SYNTAX StatisticsEntry

MAX-ACCESS not-accessible

STATUS current

DESCRIPTION “Cada entrada contém a descrição de um código de uma estatística.”

INDEX statisticsCode

::= statisticsTable 1

StatisticsEntry ::= SEQUENCE

statisticsCode Integer32,

statisticsDescription DisplayString,

statisticsStatus RowStatus

statisticsCode OBJECT-TYPE

SYNTAX Integer32 (-2147483648 .. 2147483647)

MAX-ACCESS not-accessible

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto contém o código de um estatística, descrita no objeto statisticsDescription.”

::= statisticsEntry 1

statisticsDescription OBJECT-TYPE

SYNTAX DisplayString (SIZE (0 .. 255))

MAX-ACCESS read-only

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto contém a descrição de uma estatística.”

::= statisticsEntry 2

statisticsStatus OBJECT-TYPE

SYNTAX RowStatus active (1), notInService (2), notReady (3), createAndGo (4), createAndWait (5), destroy (6)

MAX-ACCESS read-create

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto permite ao gerente criar ou deletar linhas remotamente.”

::= statisticsEntry 3

periodTable OBJECT-TYPE

SYNTAX SEQUENCE OF PeriodEntry

MAX-ACCESS not-accessible

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto é uma tabela que contém as descrições dos períodos em que: as chamadas foram realizadas e as estatísticas calculadas.”

::= voipQoS 4

periodEntry OBJECT-TYPE

SYNTAX PeriodEntry

MAX-ACCESS not-accessible

STATUS current

DESCRIPTION “Cada entrada contém a descrição de um índice de qualidade de chamadas.”

INDEX periodCode

::= periodTable 1

PeriodEntry ::= SEQUENCE

periodCode Integer32,

periodDescription DisplayString,

periodStatus RowStatus

periodCode OBJECT-TYPE

SYNTAX Integer32 (-2147483648 .. 2147483647)

MAX-ACCESS not-accessible

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto contém o código de um período, descrito no objeto periodDescription.”

::= periodEntry 1

periodDescription OBJECT-TYPE

SYNTAX DisplayString (SIZE (0 .. 25))

MAX-ACCESS read-only

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto contém a descrição de um período.”

::= periodEntry 2

periodStatus OBJECT-TYPE

SYNTAX RowStatus active (1), notInService (2), notReady (3), createAndGo (4),
createAndWait (5), destroy (6)

MAX-ACCESS read-create

STATUS current

DESCRIPTION “Este objeto permite ao gerente criar ou deletar linhas remotamente.”

::= periodEntry 3

END

APÊNDICE C - Produções Científicas

Artigos Publicados:

- **Journal:**

LIMA, Ana Flávia Marinho de; CARVALHO, Leandro S. G. de; SOUZA, José Neuman and MOTA, Edjair de Souza. “*A Framework for Network Quality Monitoring in VoIP Environment*”. In: *IJNM International Journal on Network Management*, 2006.

- **Conferências Internacionais:**

LIMA, Ana Flávia Marinho de; RIBEIRO, Francisco Raphael B; ALBANO, Wellington; SOUZA, José Neuman de. “*Call and Gatekeeper Management in a VoIP Environment Using Extended ITU-T H.341 MIB Objects*”. In: *ICT2005, 2005, Cape Town. 12th “International Conference on Telecommunications, 2005.*

CARVALHO, Leandro; MOTA, Edjair; AGUIAR, Regeane; LIMA, Ana Flávia Marinho de; SOUZA, José Neuman de. “*An E-Model Implementation for Speech Quality Evaluation in VoIP Systems*”. In: *ISCC2005, 2005, Cartagena. 10th IEEE “Symposium on Computers and Communications, 2005. v. Único. p. 933-938.*

LIMA, Ana Flávia Marinho de; RIBEIRO, Francisco Raphael; MELO, Maiquel Sampaio de; CARVALHO, Leandro S. G. de; AGUIAR, Regeane; SOUZA, José Neuman de; MOTA, Edjair Souza. “*Monitoring based on statistical analysis for evaluating quality of calls in VoIP environment*”. In: *Lanoms 2005 4th “Latin American Network Operations and Management Symposium, 2005, Porto Alegre. 2005. p. 151-162.*

- **Conferência Nacional:**

LIMA, Ana Flávia Marinho de; RIBERIO, Francisco Raphael; MELO, Maiquel Sampaio de; CARVALHO, Leandro S. G. de; AGUIAR, Regeane; SOUZA, José Neuman de; MOTA, Edjair de Souza. Monitoramento baseado em análise estatística para avaliação da qualidade da fala em um ambiente de voz sobre IP. Em: “*Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*”, 2005, Fortaleza. “*Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços*”, 2005. v. Único. p. 21-32.