

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE VOZ EM REDES MÓVEIS
CELULARES BASEADA NA PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS

JACKSON MAIA DE SOUSA

MANAUS
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JACKSON MAIA DE SOUSA

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE VOZ EM REDES MÓVEIS
CELULARES BASEADA NA PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de concentração Telecomunicações.

ORIENTADOR: ANDRÉ MENDES CAVALCANTE, Dr.
CO-ORIENTADOR: DEMOSTENES ZEGARRA RODRIGUEZ, Msc.

MANAUS
2011

JACKSON MAIA DE SOUSA

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE VOZ EM REDES MÓVEIS
CELULARES BASEADA NA PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de concentração Telecomunicações.

BANCA EXAMINADORA

Prof.(a). _____ - Presidente

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof.(a). _____ - Examinador

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof.(a). _____ - Examinador

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Dedicatória

Dedico este trabalho a toda minha família, amigos e colegas que fizeram e fazem parte de minha vida.

Agradecimentos

À Deus.

A minha esposa e familiares. Aos amigos do Laboratório de Telecomunicações do Instituto Nokia de Tecnologia em especial ao Silvério Del Fiaco, Eduardo Alfaia, Felipe Miranda e Gabriel Pivaro. Ao meu orientador professor Dr. André Cavalcante e Co-Orientador Msc. Demostenes Zegarra. Ao Instituto Nokia de Tecnologia INdT e a Faculdade Federal do Amazonas UFAM.

RESUMO

A indústria de telefonia móvel encontra-se, mais uma vez, em intenso processo de transformação com a popularização definitiva dos serviços de voz e dados e a implementação das redes de terceira geração no Brasil. A tendência de significativo crescimento do setor é resultado do modelo de privatização do antigo sistema de telecomunicações, dos investimentos em novas tecnologias e principalmente da grande competitividade entre as empresas. Neste contexto, a proposta deste trabalho é realizar uma análise do sistema de avaliação dos índices de qualidade dos serviços prestados pelas operadoras de telefonia móvel celular, mais especificamente no que se refere aos serviços de voz. O foco principal da pesquisa será a análise e proposição de índices de qualidade de voz dentro de uma nova abordagem, onde a qualidade do serviço prestado é avaliada em termos da percepção dos usuários. Os índices de avaliação da qualidade de voz foram baseados na média das avaliações subjetivas, realizadas pelos usuários através de pontuação MOS, e Avaliações objetivas através da utilização do algoritmo PESQ. O processo de avaliação ocorre de forma automática por decisão do usuário final ao atribuir uma pontuação subjetiva a sua última chamada realizada. Os testes foram realizados, em redes reais, em três operadoras que prestam serviço de telefonia móvel celular na cidade de Manaus. Quatro pontos, com diferentes características de tráfego, foram eleitos para a coleta dos dados. Os resultados da pesquisa demonstram que a utilização da metodologia proposta pode ser valiosa para a agência reguladora do setor, como métrica para avaliação da qualidade dos serviços de voz disponibilizados aos usuários, como também às próprias operadoras na otimização e no desenvolvimento das suas redes móveis.

Palavras Chave: Qualidade de Voz, Percepção dos Usuários, Índices de Avaliação, Redes Móveis.

ABSTRACT

The mobile industry is, once again, in an intense transformation process with the definitive popularization of the voice and data services and the deployment of third generation networks in Brazil. The trend of significant growth in the sector is the result of the privatization model of the former telecommunications operators, the investment in new technologies, and especially, the great competition among companies. In this context, the purpose of this study is to perform a system analysis of the services quality indices provided by cellular mobile operators, specifically regarding to voice services. The main focus of the research will be to examine and propose the voice quality index in a new approach, where quality service is evaluated in terms of user's perception. The assessing voice quality indice was based on the average of subjective evaluations, made by users through MOS score, and by objective evaluations using the PESQ algorithm. The evaluation process is done automatically by the end user's decision to assign a subjective score to its last call made. Tests were carried out in real networks, at three operators that provide mobile telephone service in Manaus city. Four points, with different traffic characteristics, were chosen for data collection. The research results show that using the proposed methodology may be valuable to the sector regulator, as a metric for assessing the quality of voice service available for the users, as well as the operators themselves in the optimization and the development of their mobile networks.

Key Words: Voice Quality, User's Perception, Quality Index, Mobile Networks.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1	Escala de Qualidade de Audição	23
Quadro 2	Escala Esforço de Audição	24
Quadro 3	Preferência de Sonoridade	24
Quadro 4	Escala de Degradação	25
Quadro 5	Nomenclaturas MOS	26
Quadro 6:	Tabulação Área 1 AS=1	56
Quadro 7:	Tabulação Área 1 AS=3	57
Quadro 8:	Tabulação SMP13	58
Quadro 9:	Desvio padrão	58
Quadro 10:	Análise de Tráfego	59
Tabela 1:	Indicadores de Qualidade Anatel	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Visão Geral do Processo PSQM	28
Figura 2:	Filosofia básica de operação PESQ	30
Figura 3:	Filosofia detalhada PESQ	31
Figura 4:	Avaliação Modelo E	32
Figura 5:	Classificação básica dos métodos de avaliação	34
Figura 6:	Diagrama básico do método intrusivo	35
Figura 7:	Gerenciamento de Indicadores de Qualidade SMP	47
Figura 8:	Equipamentos Drive Test	49
Figura 9:	Aplicação MOS	53
Figura 10:	Avaliação Objetiva	54
Figura 11:	Arquitetura de rede da solução proposta	63
Figura 12:	Cenário de teste	66
Figura 13:	E6474A - Software de avaliação de qualidade da voz	67
Figura 14:	Ferramenta Voice Quality Test (VQT)	68
Figura 15:	Exemplo de boa avaliação da qualidade de voz	69
Figura 16:	Exemplo de avaliação da qualidade da voz ruim	69
Figura 17:	Avaliação por área	70
Figura 18:	Pontos de testes	71
Figura 19:	Avaliação Área 1	72
Figura 20:	Avaliação Área 2	73
Figura 21:	Avaliação Área 3	73
Figura 22:	Avaliação Área 4	74
Figura 23:	Desvio Padrão	75
Figura 24:	Indicador de Avaliação da Voz	76

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

3GPP	<i>The 3rd Generation Partnership Project</i>
AS	<i>Avaliação Subjetiva</i>
ACR	<i>Absolute Category rating</i>
ADPCM	<i>Adaptive Differential Pulse Code Modulation</i>
ANATEL	<i>Agência Nacional de Telecomunicações</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BTS	<i>Base Transmission Station</i>
CCC	<i>Central de Comutação e Controle</i>
CCITT	<i>Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique</i>
CCR	<i>Comparison Category Rating</i>
CCR	<i>Centro de Controle da Rede</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CELP	<i>Code-Excited Liner Prediction</i>
CN	<i>Código Nacional</i>
CRC	<i>Check de Redundância Cíclica</i>
DCR	<i>Degradation Category Rating</i>
EDGE	<i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i>
ETSI	<i>European Telecommunication Standards Institute</i>
FER	<i>Frame Erase Rate</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GSM-AMR	<i>GSM Adaptive Multi Rate</i>
GSM-EFR	<i>GSM Enhanced Full Rate</i>
GSM-FR	<i>GSM-Full Rate</i>
GSM-HR	<i>GSM Half Rate</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
IETF	<i>The Internet Engineering Task Force</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
ITU-T	<i>ITU Telecommunication Standardization Sector</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>

LA	<i>Large Account</i>
LBS	<i>Location Based Service</i>
LPC	<i>Linear Prediction Code</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MA	<i>MOS Aplicação</i>
MIPS	Milhões de Instruções por Segundo
MNB	<i>Measuring Normalizing Blocks</i>
MNRU	<i>Modulated Noise Reference Unit</i>
MOS	<i>Mean Opinion Score</i>
MOS – LQS	<i>Mean Opinion Score – Listening Quality Subjective</i>
MOS – LQO	<i>Mean Opinion Score – Listening Quality Objective</i>
MSC	<i>Mobile Switching Center</i>
ONU	Organização das Nações Unidas.
PAMS	<i>Perceptual Analysis Measurement System</i>
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i>
PESQ	<i>Perceptual Evaluation of Speech Quality</i>
PGMQ-SMP	Plano Geral de Metas de Qualidade para o Serviço Móvel Pessoal
PLMN	<i>Public Land Mobile Network</i>
PMM	Período de Maior Movimento
PSQM	<i>Perceptual Speech Quality Measurement</i>
PSQM+	<i>Perceptual Speech Quality Measurement Enhanced</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RF	Rádio Frequência
<i>SIM</i>	<i>Subscriber Identity Module</i>
SMP	Serviço Móvel Pessoal
<i>SMS</i>	<i>Short Message Service</i>
<i>SMSC</i>	<i>Short Message Service Center</i>
<i>SQ</i>	<i>Servidor de Qualidade</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TR	<i>Technical Report</i>
TSG	<i>Technical Specification Group</i>
TS	<i>Technical Specification</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos da Pesquisa	13
1.2	Delimitação do Estudo	14
1.3	Relevância do Estudo / Justificativa	14
1.4	Estrutura do Trabalho	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Avaliação de Qualidade de Voz	18
2.2	Método subjetivo de Avaliação da Qualidade da voz	21
2.3	Método objetivo de Avaliação da Qualidade de Voz	26
2.4	Comparativo entre o modelo Subjetivo e Objetivo	32
2.5	Classificação dos Métodos de Avaliação	33
2.6	Codificadores de Voz	36
2.7	Indicadores relacionados à qualidade de voz em uma rede celular	39
2.8	Métodos de Avaliação de Desempenho das Redes Celulares	41
2.8.1	Avaliação de cobertura da rede – Drive Test	48
3	METODOLOGIA	51
3.1	Tipo de Pesquisa	51
3.2	Coleta de Dados	52
3.3	Metodologia de Avaliação	54
3.4	Tratamento de dados	56
3.5	Demanda de Tráfego	58
3.6	Limitações do Método	60
4	ARQUITETURA DE REDE DA SOLUÇÃO PROPOSTA	61
4.1	Novo Indicador de Qualidade de Voz – SMP13	64
5	RESULTADOS DA PESQUISA	66
5.1	O Cenário de Testes	66
5.2	Avaliação dos novos Indicadores de qualidade de voz	72
6	CONCLUSÕES	77
6.1	Estudos Futuros	77
7	REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

Recentes avanços tecnológicos nas comunicações sem fio vêm propiciando um crescimento expressivo de serviços de dados em redes móveis celulares no mundo, e.g., mensagens de texto multimídia, vídeo chamadas, redes sociais, serviços baseados em localização, etc. Apesar de tais serviços de dados estarem em crescente evolução, serviços básicos de voz continuam sendo os de maior volume de tráfego nas operadoras de telefonia móvel. Este cenário vem requerendo por parte das operadoras e dos órgãos reguladores, um posicionamento mais ativo na avaliação da Qualidade de Serviços (QoS) dos serviços prestados.

Neste contexto, diversos mecanismos de controle de qualidade baseada em diferentes parâmetros da rede celular são usados pelas operadoras de telefonia móvel. Os mecanismos de avaliação são baseados em indicadores de desempenho da rede, também denominados *Key Parameter Indicators (KPI)*. Estes, porém, não exploram diretamente a qualidade do serviço de voz (SEYTNAZAROV, 2010; GONÇALVES, MIRANDA, CERCAS, 2007; FARES, 2004). Além disso, grande parte dos indicadores de qualidade é avaliada por meio de testes de campo, denominados de *drive tests*, sendo a maioria restritos a uma área geográfica reduzida e em geral com um alto custo (tempo e recurso) associado. Embora algumas operadoras possam adotar algumas estratégias que tentam realizar a avaliação indireta da qualidade de voz a partir de alguns parâmetros da rede celular (PAUL, 2004; DOLEZALOVA, HOLUB, 2005) as mesmas não são flexíveis para contemplar as diferentes configurações existentes na rede, como por exemplo, o codificador de voz utilizado, mobilidade do usuário, etc., o que pode mascarar a interpretação dos resultados gerados.

Especificamente no Brasil, existem algumas particularidades no que diz respeito ao controle de qualidade dos serviços. Como os serviços de dados no país ainda estão amadurecendo, devido as redes de telefonia móvel operacionais ainda estarem se consolidando para provisão de tais serviços, o serviço básico de voz ainda é o alvo de principal interesse de fiscalização. Apesar de ser um dos focos, o serviço de voz, na maioria dos casos, não possui qualidade assegurada pelas operadoras em toda a região geográfica onde eles são disponibilizados. Tal

panorama vem fazendo com que os esforços dos órgãos governamentais brasileiros se concentrem na satisfação do cliente. Prova disso foi a consulta pública de número 27 realizada pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) no mês de agosto de 2010 (ANATEL, 2010), que mostra uma tendência do setor em busca da melhoria da qualidade do serviço. A idéia da consulta, dentre outras, é de propor a criação de um modelo de avaliação baseado na percepção de qualidade do Serviço Móvel Pessoal (SMP) sob o ponto de vista do usuário. Essa valorização da opinião do usuário, se bem interpretada, pode beneficiar a estratégia da empresa que melhor e mais rapidamente conseguir decifrar os movimentos do mercado, e colocá-la em temporária vantagem competitiva. As empresas devem aprender a responder rapidamente às mudanças tecnológicas e oportunidades de mercado, por meio da oferta de novos produtos/serviços de forma cada vez mais acelerada (HITT, et al, 2009, p.8). De acordo com Porter (1991, p.1), a definição de estratégia competitiva “é a busca de uma posição competitiva favorável em uma indústria, a arena fundamental onde ocorre a concorrência. A estratégia competitiva visa estabelecer uma posição lucrativa e sustentável contra as forças que determinam a concorrência da indústria.” Ainda segundo o autor, na teoria dinâmica de estratégia, o conceito de equilíbrio é impreciso. O ambiente apresenta-se em constante evolução e interações entre rivais ocorrem de forma permanente (PORTER, 1991).

A proposta desta pesquisa vem justamente de encontro a uma necessidade recente do setor, onde o usuário do SMP e em geral, o usuário de qualquer serviço de telecomunicações que transmita voz, seja parte integrante do processo de avaliação dos índices de qualidade do serviço o qual ele está utilizando.

1.1 Objetivos da Pesquisa

Como objetivo geral desta pesquisa pretende-se avaliar a qualidade dos serviços de voz criando uma nova metodologia de avaliação das redes móveis de telecomunicações, mais especificamente nas redes móveis GSM (*Global System for Mobile Communications*) das principais operadoras de telefonia móvel brasileira, sob a perspectiva do usuário final. Como objetivos específicos estão as seguintes ações:

- Propor modelo matemáticas, baseada na média das avaliações Subjetivas e objetivas, para compor um novo indicador de avaliação de

voz que represente fielmente a qualidade de voz da rede e considere a percepção de qualidade do usuário final;

- Criar um novo indicador que represente a qualidade de voz das operadoras tanto em âmbito global como em regiões geográficas específicas de atuação, provendo, desta forma, recursos para as operadoras no aprimoramento dos serviços de voz prestados;
- Montagem de um cenário de teste para proporcionar a avaliação da qualidade de voz nas redes com tecnologia de acesso GSM, nas três principais operadoras que prestam serviço de voz na cidade de Manaus;
- Realizar testes e coletar dados em quatro pontos geográficos na cidade de Manaus, considerando a nova metodologia de avaliação dos índices de qualidade de voz;

1.2 Delimitação do Estudo

Esta pesquisa visa avaliar especificamente a qualidade das chamadas de voz em redes de telefonia onde o padrão GSM (*Global System for Mobile Communications*) é utilizado. As chamadas de testes serão realizadas nas três principais operadoras de telefonia móvel na cidade de Manaus-AM. Avaliações em outras tecnologias como: TDMA (*Time Division Multiple Access*), CDMA (*Code Division Multiple Access*) e UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) não foram contempladas nesta pesquisa.

Apesar desta pesquisa, em vários termos, sugerir a criação de um novo indicador de qualidade para a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), vale salientar tratar-se apenas de uma contribuição para a modernização dos processos de avaliação usados pela agência, uma vez que a mudança do atual sistema depende de ampla discussão e aprovação de normas e regulamentos pela ANATEL e em alguns casos de Leis pelo congresso nacional brasileiro.

1.3 Relevância do Estudo / Justificativa

A competitividade acirrada na prestação dos serviços móveis já é uma realidade, visto a quantidade de novos serviços agregados ao telefone celular. Segundo dados recentes, divulgados pela ANATEL, em Abril de 2011 a marca de 212 milhões de usuários no SMP (Serviço Móvel Pessoal) foi ultrapassada, representando uma teledensidade acima dos 100%. Deste total, mais de 82% são usuários de telefones pré-pagos, onde a voz é o principal serviço oferecido a este tipo de consumidor. Um mercado promissor com lucros líquidos anuais na casa dos bilhões de Reais (ANATEL, 2011). Somente no primeiro trimestre deste ano, a indústria de Telecomunicações obteve um faturamento 20% acima em relação ao mesmo período de 2010, informa a avaliação setorial da ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica).

Os dados do setor são bastante significativos, a GSM Association (GSMA, 2011) estima que as tecnologias definidas no padrão GSM, técnica de múltiplo acesso usada nesta pesquisa, somam 80% do mercado móvel global, abrangendo mais de 1,5 bilhão de pessoas em mais de 218 países e territórios, tornando a tecnologia mais difundida dentre todas as tecnologias disponíveis para redes celulares no Mundo. No Brasil, segundo dados da ANATEL, a tecnologia GSM também é a grande maioria, no mês de Abril de 2011 os acessos GSM somarão mais de 183 milhões contra um pouco mais de 19 milhões da tecnologia WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*).

Só com base nestes números pode-se concluir que este serviço deveria ter um rigoroso controle de qualidade junto às operadoras. Contudo, a inexistência de um indicador efetivo de avaliação do serviço de voz, libera as operadoras para cada vez mais, utilizarem recursos que limitam as taxas de codificação deste serviço, prejudicando, desta forma, a legibilidade da voz entre os interlocutores. A utilização deste recurso pode ainda afetar o desempenho de outros indicadores. Nesse sentido, a avaliação da qualidade dos serviços de voz pode servir como ferramenta ao governo (através de sua agência reguladora, a ANATEL), e a próprias operadoras de executar melhorias constantes no fornecimento deste serviço.

A limitação do atual sistema de avaliação está motivando a ANATEL na construção de uma proposta de renovação dos indicadores de qualidade do SMP (ANATEL, 2010). Esta motivação é oriunda da evidência de algumas necessidades, tais como:

- Avaliação simplista diante da complexidade dos serviços;
- Revisão das metas de verificação de requisitos de qualidade
- Revisão da dependência da ANATEL com fornecimento de dados pelas prestadoras;
- Entendimento dos resultados aferidos pelos índices atuais.

Dentro deste contexto, este trabalho se justifica primeiramente por estar alinhado com os anseios da agência reguladora do setor de telecomunicações e com o mercado de telefonia móvel no que concerne a questão de avaliação dos índices de qualidade do serviço de voz. Justifica-se também, pois, além de propor uma nova metodologia de avaliação de qualidade para serviços de voz, propõe a criação de um novo índice para a avaliação da qualidade das comunicações de voz dentro do SMP. A definição deste novo índice vem cobrir o vazio na atual regulamentação da ANATEL no que diz respeito à avaliação dos serviços de voz, criando uma forma mais efetiva de avaliação baseada na percepção dos usuários deste serviço.

Nesse cenário onde o usuário interage com o sistema de avaliação, o novo índice garantiria um melhor e mais completo monitoramento da rede, pois criaria uma grande fonte de informações que favoreceria a ANATEL e as próprias operadoras à tomada de decisões de forma automática e imediata, para otimização da qualidade dos serviços de voz nas redes disponíveis. Além disso, com as informações obtidas, pode-se determinar quais as regiões devem ser otimizadas na rede, como também, serem usadas como índice de avaliação da operadora SMP pelo órgão regulador.

Além disso, as propostas apresentadas nesta pesquisa podem servir como uma importante contribuição para as operadoras na redução dos custos na compra de equipamentos, alocação de recursos humanos para a realização de *drive tests*, além do tempo de resposta de pós-processamento dos dados significativamente menor, proporcionado desta forma maior agilidade na atuação de falhas na rede.

1.4 Estrutura do Trabalho

A estrutura deste trabalho é organizada da seguinte forma: no capítulo 1 são apresentados a Introdução, Objetivos e Justificativas desta pesquisa. No Capítulo 2 é apresentado o referencial teórico, pesquisas e métodos usados na avaliação dos serviços de voz sob diferentes maneiras, além do esclarecimento de questões relevantes ao entendimento de parâmetros de redes usados na avaliação da qualidade da voz nas redes móveis atuais; Capítulo 3 descreve a arquitetura da rede e a formulação dos indicadores de qualidade de voz propostos; Capítulo 4 apresenta a metodologia de coleta, classificação dos dados e o delineamento da pesquisa; Capítulo 5 reporta a análise dos resultados da pesquisa e por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões e estudos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Abaixo se discorre vários conceitos que de forma direta ou indireta implicam em um melhor entendimento do tema da pesquisa em questão, principalmente relacionados a aspectos da avaliação da qualidade voz, além de maiores esclarecimentos a termos e aos métodos que foram adotados para a elaboração desta pesquisa.

2.1 Avaliação de Qualidade de Voz

A avaliação da qualidade da voz é uma das principais etapas no desenvolvimento de um sistema digital de comunicação. É natural portanto, pesquisas para o desenvolvimento das técnicas atuais e criação de novos modelos para avaliação de qualidade destes serviços.

Existem muitos fatores que influenciam a qualidade da voz. Apesar da maioria desses fatores poderem ser medidos na recepção, a qualidade de voz é melhor avaliada a partir da perspectiva do usuário final, haja vista que a percepção do usuário é a que gera satisfação ou não pelo serviço prestado.

Atualmente a avaliação da qualidade de voz de uma ligação, sob o ponto de vista do receptor, pode ser feita basicamente de duas maneiras. A primeira delas é através da avaliação subjetiva. Neste método um conjunto de usuários dão notas a alguns critérios pré-estabelecidos de acordo com a suas expectativas e experiências pessoais. A média obtida destas avaliações torna-se a métrica que representa a qualidade desta ligação. No outro método, a avaliação da qualidade de voz calcula esta métrica de forma objetiva. Neste método a métrica pode ser calculada a partir de parâmetros obtidos da própria rede de comunicação, por exemplo, nível de recepção, taxa de erro de transmissão e qualidade de recepção entre outros. Outra maneira de se obter uma avaliação objetiva é através da comparação do sinal de voz da mensagem original com o sinal da mensagem recebida, após ter sofrido degradações que são inseridas no transcurso da chamada causada pelo processo de codificação e decodificação, e pela sua transmissão na rede.

Todas as características dos métodos de avaliação da voz, sejam eles subjetivos ou objetivos, são amplamente estudadas, discutidas e submetidas a rigorosos testes de validação. Importantes organismos internacionais realizam estudos e criam normatizações em diferentes segmentos do setor de telecomunicações.

O IETF (*Internet Engineering Task Force*) é uma comunidade internacional aberta, composta de grandes projetistas de rede, operadores, fornecedores e pesquisadores preocupados com a evolução da arquitetura e do bom funcionamento da Internet. O IETF é organizado em grupos de trabalho, que são distribuídos por assunto em várias áreas (por exemplo, roteamento, transportes, segurança, etc.). Em função de sua vocação, estudos de avaliação de qualidade de voz desenvolvidos pelo IETF, são baseados em tecnologias de transmissão VoIP (*Voice over Internet Protocol*).

O 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) outro importante órgão de padronização internacional é composto por vários Grupos de Especificações Técnicas (TSGs). Inicialmente o escopo do 3GPP era produzir Especificações Técnicas (TS) e Relatórios Técnicos (TR) para o Sistema móvel 3G (Terceira Geração) baseado na evolução dos equipamentos de controle das redes a partir do GSM. O escopo do 3GPP foi posteriormente alterado para incluir a manutenção e desenvolvimento de especificações e relatórios técnicos para o próprio sistema GSM, incluindo a evolução de tecnologias de acesso de rádio como, por exemplo, o GPRS (*General Packet Radio Service*) e o EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*). É um projeto de parceria formada pelos seguintes organismos de normalização:

- **ARIB** - *Association of Radio Industries and Businesses*, Japão;
- **ATIS** - *Alliance for Telecommunications Industry Solutions*, EUA;
- **CCSA** - *China Communications Standards Association*;
- **ETSI** - *European Telecommunications Standards Institute*;
- **TTA** - *Telecommunications Technology Association*, Coreia;
- **TTC** - *Telecommunication Technology Committee*, Japão.

O trabalho realizado no 3GPP é baseado nas recomendações do ITU (*International Telecommunication Union*) e o resultado dos trabalhos, muitas vezes, é também submetido, para regulamentação, ao próprio ITU (DAHLMAN *et al*, 2007).

A ITU é a principal instituição responsável por coordenar estudos de qualidade e padronização relacionada à voz. É uma organização internacional destinada a padronizar e regulamentar as ondas de rádio e telecomunicações a nível mundial. Inicialmente fundada como *International Telegraph Union* (ou União Internacional de Telégrafos), em Paris, no dia 17 de maio de 1865, atualmente é a organização internacional mais antiga do mundo. Suas principais ações incluem estabelecer a alocação de espectros de ondas de rádio e organizar os recursos de interconexões entre todos os países, permitindo assim as ligações internacionais. É uma das agências especializadas da ONU (Organização das Nações Unidas), tendo sua sede em Genebra, na Suíça, próximo ao campo principal da Organização. Os padrões internacionais que são produzidos pela ITU são referidos como recomendações devido à sua longevidade como uma organização internacional e seu *status* como uma agência especializada da ONU. Os padrões promovidos pela ITU possuem um grande valor de reconhecimento internacional sobre outras organizações que publicam especificações técnicas similares.

Em 1947 surgiu o setor de padronização para telecomunicações ITU-T (*ITU Telecommunication Standardization Sector*) inicialmente como um comitê especializado da ONU. Em 1956 esse comitê ganhou status de organização, passando a ser denominado “*Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique*” (CCITT). Em 1992, passou a ter designação atual, conhecida hoje como ITU-T.

O ITU-T cria recomendações que, após serem aprovadas pelos membros, são empregadas para o desenvolvimento de soluções tecnológicas envolvendo redes e telecomunicações. De forma geral é um setor permanente do ITU, responsável por estudar as questões técnicas, operacionais e tarifárias e emitir recomendações sobre eles, com vista à normalização das telecomunicações a nível mundial.

Os padrões internacionais produzidos pelo ITU-T são referências citadas com recomendações e são mundialmente reconhecidas. Como a ITU faz parte da ONU, seus padrões têm mais reconhecimento formal do que outras organizações que publicam especificações e normas internacionais.

As recomendações do ITU-T descrevem, além de outros, os métodos, regras e procedimentos para condução de teste para avaliação dos serviços de voz, elas são a base para o desenvolvimento dos serviços de telecomunicações. As principais recomendações que tratam da avaliação da qualidade do serviço de voz em redes móveis, usadas nesta pesquisa, estão descritas nas próximas seções.

2.2 Método subjetivo de Avaliação da Qualidade da voz

O principal método subjetivo amplamente, ainda nos dias atuais, utilizado para avaliar a qualidade de voz é o MOS (*Mean Opinion Score*) [ITU-T P.800], utilizando uma avaliação subjetiva. Nesse método, um grupo de pessoas escuta e avalia individualmente as ligações, gerando valores médios estatísticos que podem quantificar a qualidade da voz. Este método possui aplicações genéricas, podendo analisar perda, ruído de circuito, erros de transmissão, eco, etc. De acordo com esta recomendação as medidas são derivadas da avaliação de várias amostras de voz pré-selecionadas em meios de transmissão diferentes. As vozes são reproduzidas sobre condições controladas para um grupo de pessoas (homens e mulheres), onde a avaliação da qualidade de voz é baseada em uma escala numérica entre 1 (Ruim) e 5 (Excelente).

Os Métodos subjetivos apresentam resultados mais próximos da realidade, pois na avaliação utilizam a própria interpretação humana como forma de se obter uma métrica representativa da qualidade. No entanto, sua implementação é um processo caro e complexo. Esse Método, porém não é recomendado para análise de qualidade em tempo real de conexões de usuários em ambientes de produção, pois requer questões de privacidade e escalabilidade (DAVID, 2003, p.16).

As normas e métodos referentes aos critérios de como os testes subjetivos devem ser conduzidos estão descritos nas recomendações (ITU-T, Rec. P.830, Rec. P.810 e Rec. P.800).

A recomendação (ITU-T, Rec. P.830) define um método de teste específico para avaliação de processos digitais. Este método permite que os efeitos subjetivos da distorção introduzida pelo processo da codificação de voz sejam levados em conta ao avaliar o desempenho da evolução da rede.

Nela também são definidos os métodos para condução dos testes subjetivos, os procedimentos que definem a seleção de oradores para a gravação de discursos

de origem, métodos para a gravação e preparação das amostras de entrada, quantidades e formatos de discursos, os parâmetros de ambiente de teste e métodos de seleção e orientação dos atendentes de teste.

A motivação para o desenvolvimento de uma recomendação que avaliasse a performance do processo de codificação da voz se deu pelo fato de que já em 1996 a transmissão digital já tinha se tornado comum nas redes fixas públicas de telefonia comutada, tornando fundamental a busca pela combinação de um melhor conhecimento das técnicas de processamento de sinais e os avanços tecnológicos, levando a um interesse crescente por métodos mais eficientes de codificação de voz. Nas seções seguintes as recomendações, que foram referência no desenvolvimento das técnicas de avaliação subjetiva da voz, são descritas.

A recomendação (ITU-T, Rec. P.810) foi desenvolvida em conjunto com a recomendação ITU-T P.830 que descreve a MNRU (*Modulated Noise Reference Unit*), uma unidade autônoma para a introdução de degradação controlada de sinais de fala. Toda experiência deve incluir condições de referência, de modo que as experiências feitas em diferentes laboratórios ou em momentos diferentes no mesmo laboratório possam ser significativamente comparadas. O MNRU foi introduzido como uma condição de referência na avaliação do processo de codificação digital da voz e amplamente utilizado nas avaliações de desempenho subjetivo. Com essa condição de referência é possível fazer sensíveis comparações quando o mesmo codificador de voz é testado, minimizando, desta forma, os efeitos do dispositivo, e dos seus procedimentos de calibração objetiva, sobre os resultados de testes subjetivos.

Em Agosto de 1996 a recomendação (ITU-T, Rec. P.800) foi aprovada, em virtude das modificações feitas para adaptar esta recomendação com a revisão da Recomendação (ITU-T, Rec.P.830). Os métodos indicados nesta recomendação são destinados a serem aplicados independentemente da forma de fatores de degradação. Exemplos de fatores degradantes incluem: perdas, ruído de circuito, os erros de transmissão (erros aleatórios de bits, perda de quadro que ocorrem em sistemas tais como as comunicações móveis), ruído ambiental; distorção não-linear de echo, incluindo a codificação de baixa taxa de bits, o tempo de propagação, os efeitos nocivos dos dispositivos de voz; distorções da escala de tempo decorrentes

de comutação de pacotes e variáveis no tempo, degradações do canal de comunicação.

Os principais métodos de avaliação, usados em teste de audição, descritos pela recomendação (ITU-T, Rec. P.800), estão descritas a seguir:

1. Categoria absoluta de Avaliação (*Absolute Category rating – ACR*);
2. Categoria de Avaliação Comparativa (*Comparison Category Rating-CCR*);
3. Categoria de Avaliação Degradativa (*Degradation Category Rating – DCR*).

O *ACR*, primeira categoria, baseia-se na avaliação absoluta da qualidade do material processado, sem que nenhum material de referência para comparação seja disponibilizado ao avaliador. Uma série de parâmetros devem ser seguidos para capturar amostras gravadas, com as propriedades padronizadas da fala, a fim de eliminar a variabilidade indesejada no material fonte. Após esta etapa o material gravado é usado em diversos testes somente de audição. A condução dos testes subjetivos pode ser utilizado para diferentes propósitos. O layout e a formulação de como estas escalas de opinião são vistas pelos sujeitos durante os experimentos, é muito importante, e deve seguir um padrão desenvolvido após anos de experiência (ITU-T, Rec. P.800). As escalas de opinião mostradas a seguir são as mais frequentemente usadas pelo ITU-T:

- Escala de Qualidade de audição (*Listening-Quality Scale*): nesta escala, um sistema de pontuação define a qualidade de pequenos grupos de sentenças descorrelacionadas, cada uma delas submetida ao processo de teste. O Quadro 1 mostra a graduação utilizada nesta escala.

Qualidade de Voz	Pontuação
Excelente	5
Boa	4
Razoável	3
Pobre	2
Ruim	1

Quadro 1: Escala de Qualidade de Audição
Fonte: ITU-T P.800

- Escala de Esforço de Audição (*Listening-Effort Scale*): esta é uma escala muito importante, principalmente nos casos em que há altos níveis de degradação. Neste tipo de situação, há um maior interesse na inteligibilidade do sinal do que na qualidade, o que é aceitável em diversas aplicações, como no caso de comunicações militares. O Quadro 2 mostra a graduação utilizada nesta escala.

Esforço requerido para a compreensão do significado das sentenças	Pontuação
Relaxamento completo possível, nenhum esforço requerido	5
Atenção necessária, pouco esforço requerido	4
Esforço moderado requerido	3
Considerável esforço requerido	2
Nenhum significado é reconhecido, qualquer que seja o esforço	1

Quadro 2: Escala Esforço de Audição

Fonte: ITU-T P.800

- Escala de Preferência de sonoridade (*Loudness-Preference Scale*): define o nível de potência da sonoridade (escala de volume) percebido pelo ouvinte. A degradação é mostrada no Quadro 3 a seguir:

Preferência de sonoridade	Pontuação
Muito mais alto do que o ideal	5
Mais alto do que o ideal	4
Ideal	3
Mais baixo do que o ideal	2
Muito mais baixo do que o ideal	1

Quadro 3: Preferência de Sonoridade

Fonte: ITU-T P.800

O CCR, segunda categoria de avaliação usada em testes de audição, se distingue da categoria DCR apenas pela ordem em que as amostras são apresentadas aos ouvintes. Neste método, a ordem das amostras é escolhida

aleatoriamente. Portanto, neste tipo de teste, os ouvintes têm de responder a duas perguntas:

- Qual dos sinais é melhor?
- Quanto o sinal é melhor?

O DCR, terceira categoria, avalia a degradação do material processado em relação ao material original, o que o torna mais sensível à distinção de qualidade, em contraste com os testes tipo ACR. A escala é demonstrada no Quadro 4.

Degradação	Pontuação
Degradação inaudível	5
Degradação audível, mas não é incômoda	4
Degradação incômoda um pouco	3
Degradação incômoda	2
Degradação incômoda muito	1

Quadro 4: Escala de Degradação
Fonte: ITU-T P.800

Todo o pós-processamento estatístico é realizado em função desses números. A média aritmética de qualquer coleta destas pontuações de avaliação é chamada de índice de avaliação de conversação, e é representada pelo termo em inglês *Mean Opinion Score* (MOS).

Ainda segundo a recomendação uma formulação equivalente pode ser utilizada dependendo do idioma na qual pode resultar em pequenas variações no texto original em Inglês.

A recomendação (ITU-T, Rec. P.800.1) fornece a terminologia que usada em conjunto com a expressão qualidade de voz em termos de Mean Opinion Score (MOS). A nova terminologia é motivada pela intenção de evitar erros de avaliação quanto ao fato de os valores específicos de MOS estarem relacionadas com a qualidade de audição ou qualidade de conversação e se originam a partir de testes subjetivos ou modelos objetivos.

A terminologia MOS abreviação (*Mean Opinion Score*) foi definido na ITU-T Rec. P.10/G.100 como: A média das pontuações de opinião, ou seja, os valores em

uma escala de pontuação onde os sujeitos atribuem a sua opinião sobre o desempenho do sistema de transmissão de telefonia usado em uma conversação.

Além da escala subjetiva de avaliação, a sigla MOS também é utilizada para pontuar os modelos objetivos. No Quadro 5 a seguir as nomenclaturas são recomendadas para serem utilizados em conjunto com a sigla MOS, a fim de distinguir a sua área de aplicação:

	Teste de Audição
Subjetivo	MOS-LQSy
Objetivo	MOS-LQOy

Quadro 5: Nomenclaturas MOS
Fonte: ITU-T P.800

A letra “y” no final da abreviação é usada para definir a banda de aplicação:

N – pontuação obtida para aplicações banda estreita (300-3400 Hz);

W – pontuação obtida para aplicações em banda larga (50-7000 Hz);

A pontuação MOS – LQS do termo em inglês (*MOS - Listening Quality Subjective*) é capturada em testes de laboratório através do cálculo da média aritmética das avaliações subjetivas sobre uma escala de 5 pontos de qualidade como é definido na (ITU-T, Rec. P.800). Testes subjetivos realizados de acordo com as recomendações (ITU-T, Rec. P.830, Rec. P.835 e Rec. P.840) dão resultados em termos de MOS-LQS.

A pontuação MOS-LQO (*MOS - Listening Quality Objective*) é calculada por meio de um modelo objetivo, que visa prever a qualidade de uma situação de testes de somente escuta. As medidas objetivas feitas utilizando o modelo constante das recomendações (ITU-T, Rec. P.862.1 e Rec. P.862.2) dão resultados em termos de MOS-LQO.

2.3 Método objetivo de Avaliação da Qualidade de Voz

As medições subjetivas de qualidade são excessivamente dispendiosas, tanto em termos de custos quanto de tempo consumido (MAGRO, 2005, p44). Por essa

razão, é natural que se busque sua substituição por medidas objetivas capazes de modelar satisfatoriamente o comportamento dos ouvintes em avaliações subjetivas.

No método objetivo existem diversos algoritmos que avaliam a qualidade do sinal de voz e que outorgam uma pontuação. A Recomendação (ITU-T, Rec. P.862), mais conhecido como PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*), possui um dos algoritmos mais empregados para este tipo de avaliação. Outras recomendações, como (ITU-T, Rec. P.563 e Rec. G.107) utilizam algoritmos que implementam diferentes tipos de mecanismos para ajudar na melhoria da qualidade dos serviços de transmissão de voz. Como resultado uma pontuação é obtida e utilizada como fator de decisão.

Os métodos objetivos utilizam recursos computacionais para inferir a qualidade da voz submetida a um sistema de transmissão e/ou a um codificador de áudio. Para avaliação em redes de comutação de circuitos os métodos mais usados são os chamados métodos perceptuais os quais fazem uso do conhecimento do sistema auditivo humano para comparar um sinal de referência (trecho de voz previamente gravado) com um sinal degradado (sinal de referência submetido ao sistema de transmissão a ser avaliado).

Os principais métodos de avaliação objetiva da qualidade da voz estão abaixo discriminados:

- PSQM/PSQM+ (*Perceptual Speech Quality Measurement/Enhanced*)
- PAMS (*Perceptual Analysis Measurement System*)
- MNB (Measuring Normalizing Blocks)
- PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*)
- E-model (*The E-model, a computational model for use in transmission planning*)
- P.563 (*Single Ended Method for Objective Speech Quality Assessment in Narrow-Band Telephony Applications*)

O método PSQM foi desenvolvido em resposta a uma necessidade de criação de um método objetivo que efetivamente avaliasse a qualidade do serviço de voz. Publicada em 1996 pelo ITU como Recomendação (ITU-T, Rec. P.861), com grande aceitação na época foi a primeira medida de avaliação objetiva consistente baseada nas características da percepção humana.

O PSQM é constituído de algoritmos matemáticos que provêm à medição da qualidade subjetiva da fala. O objetivo principal é criar uma pontuação confiável para prever valores de testes subjetivos. No entanto as pontuações PSQM têm uma escala diferente e refletem a medida de distância perceptual, isto é, estas pontuações refletem quantitativamente a divergência de um sinal original de um sinal distorcido, uma vez que este foi presumidamente processado por algum sistema de telefonia. Para executar uma medida PSQM, uma amostra de fala humana gravada é inserida num sistema e processada por qualquer codec usado. O sinal de saída é gravado e então sincronizado no tempo com o sinal de entrada original. No passo seguinte os arquivos são comparados pelo algoritmo PSQM. A pontuação PSQM resultante varia de zero a infinito, quanto maior o valor da pontuação, maior será o nível de distorção. Em seguida a pontuação PSQM é transformada para uma escala subjetiva de avaliação para estimar a pontuação MOS. A figura 1 ilustra as etapas deste processo.

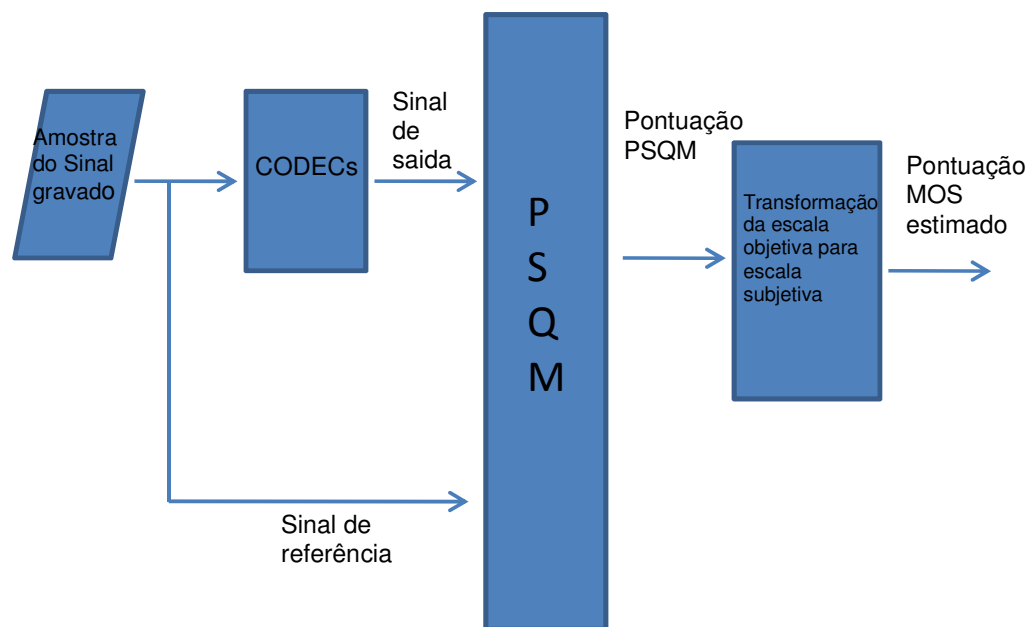


Figura 1: Visão Geral do Processo PSQM
Fonte: ITU-T P.861

A recomendação (ITU-T, P.861) foi reconhecida como tendo certas limitações em áreas específicas de aplicação. Ela foi então substituída pela recomendação P.862, que contém uma melhoria no algoritmo de avaliação de qualidade.

O PSQM+ veio para corrigir uma ineficácia do método PSQM nos casos em que os sinais de voz continham perda de trechos de dados e/ou distorções provocadas por elevado nível do volume. Para superar essa limitação, uma alteração foi desenvolvida através da modificação do algoritmo original. O PSQM+ gera resultados que parecem refletir com mais precisão o desempenho adverso de codecs da fala em condições de carga real na rede (ANDERSON, 2001, p.19). Apesar de ter se mostrado um método com alta correlação entre medidas subjetivas e objetivas, não chegou a se tornar uma recomendação do ITU.

O PAMS foi desenvolvido pelo Grupo PSyTechnics dentro da British Telecommunications em agosto de 1998, e oferece um modelo diferente do PSQM, mas com o mesmo objetivo: objetivamente prever resultados subjetivos de testes de qualidade de voz para sistemas nos quais distorções por codec assim como interrupções temporais e perda de pacotes são problemas em potencial (ANDERSON, 2001, p.20).

O método MNB (*Measuring Normalizing Blocks*) foi criado em 1997, baseada no relatório de Stephen D. Voran do Instituto de Ciências para Telecomunicações, foi publicado como anexo proposto (Anexo II) à recomendação (ITU-T Rec. P.861). Ao contrário dos demais métodos de avaliação, este leva a uma mudança na ênfase tradicional, resultando em um modelo mais simples para o ouvido e mais sofisticado para o julgamento. Após o estudo de diversos parâmetros, como as funções de transferência do ouvido externo e médio, limiares absolutos de audibilidade, curvas de sonoridade e efeitos de mascaramento, os autores da proposta chegaram à conclusão de que estes não eram significativos para o sucesso da estimativa da qualidade percebida para a faixa de telefonia. Por esse motivo, o modelo do ouvido adotado contém apenas um mapeamento da escala em Hertz para outra escala (escala em Bark) e uma transformação logarítmica da potência para aproximar a sonoridade percebida (ANDERSON, 2001, P.18).

A recomendação (ITU-T Rec. P.862) mais conhecida como PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality - Avaliação da Percepção da Qualidade da Voz*) é um algoritmo (*software*) que avalia a qualidade da voz que passou na rede de telefonia fixa ou móvel. O PESQ marca um passo importante em direção ao escopo da

exatidão comparada aos modelos anteriores de avaliação da qualidade de voz, tais como PSQM (P.861) e PSQM+. Neste modelo o objetivo é projetado para prever os resultados de testes subjetivos. O PESQ compara uma gravação de voz degradada que passou por uma rede em teste, com uma referência da voz original. Na figura 2 abaixo mostra a filosofia básica de funcionamento do modelo.

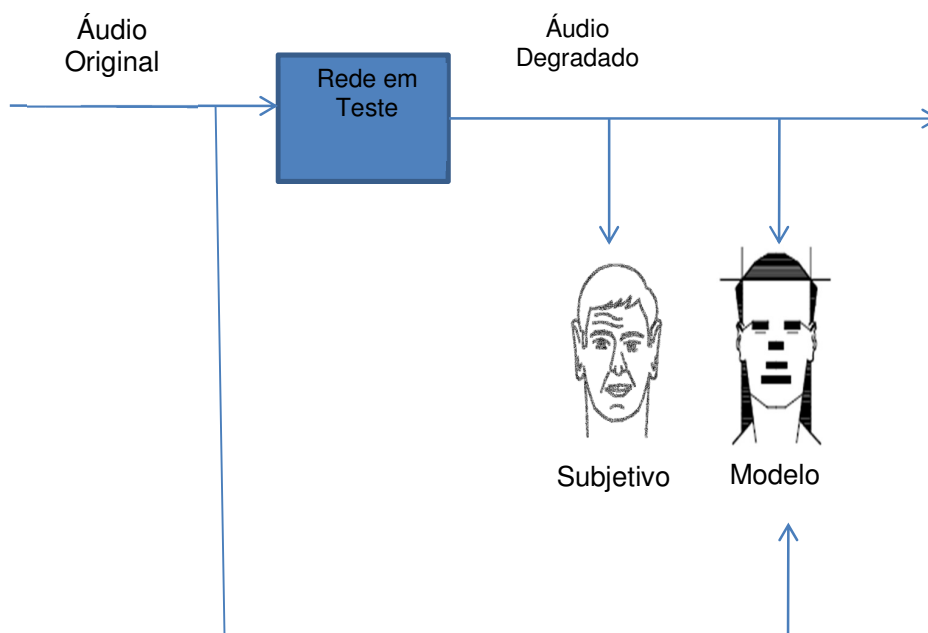


Figura 2: Filosofia básica de operação PESQ
 Fonte: Adaptado ITU-T P.862

Os sinais de áudio são alinhados e equalizados, em seguida transformados para levar em conta as propriedades chaves do sistema auditivo humano tais como máscara e volume. A diferença entre os sinais é mostrada na densidade do distúrbio, uma medida dos erros audíveis que foram introduzidos. Após aplicar algumas novas técnicas de interpretação, é mapeado em uma predição da qualidade de audição.

O processamento do modelo percebido produz representações matemáticas dos sinais acústicos de entrada e saída que levam em consideração as sensibilidades perceptivas do ser humano. A saída do processamento do Modelo percebido é frequentemente referida como uma representação interna de sinais de entrada e saída. Uma estimação de atraso do sinal degradado é feita para garantir a sincronização dos sinais de entrada e saída. Na etapa seguinte as representações internas são diretamente comparadas e a diferença é inserida em um modelo

cognitivo onde os resultados deste cálculo produz uma pontuação MOS entre 0.5 e 4.5. A figura 3 ilustra em blocos todo o processamento do modelo PESQ.

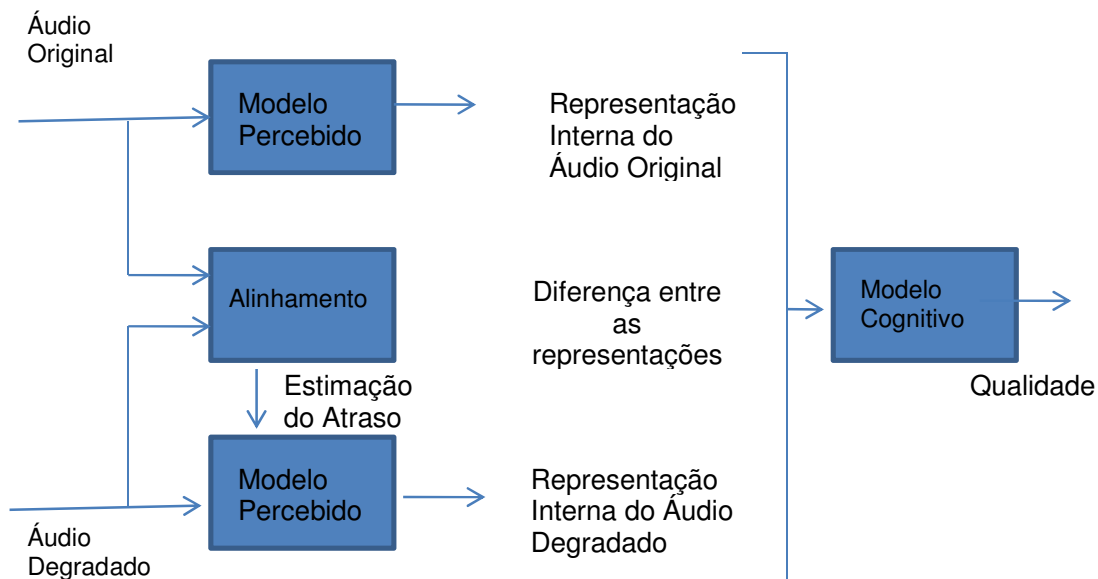


Figura 3: Filosofia detalhada PESQ

Fonte: Adaptado ITU-T P.862

A recomendação (ITU, Rec. G.107) descreve um modelo computacional conhecido como “Modelo E”, que tem se mostrado útil como uma ferramenta de planejamento de transmissão para avaliar os efeitos combinados das variações de diversos parâmetros de transmissão que afetam a qualidade de conversação nos circuitos de telefonia celular na faixa de 3,1 kHz. Este modelo computacional pode ser usado, por exemplo, no planejamento no fluxo de dados para ajudar a melhorar o desempenho das redes de transmissão, garantindo, desta forma, a satisfação dos usuários fim-a-fim. Vale salientar que a principal saída do modelo é uma pontuação única chamada de “fator R”, que é derivado de fatores de perturbações em decorrência de atrasos e de equipamento. Uma vez que um fator R é obtido, pode ser feito um mapeamento em relação a pontuação MOS. A faixa de valores do fator R pode variar na faixa de 0 a 100, sendo que $R = 0$ representa uma qualidade extremamente ruim e $R = 100$ representa uma qualidade muito elevada. A Figura 4 ilustra a relação entre os valores do fator R do “modelo E” com os valores MOS. A pontuação resultante do fator R é mostrada a esquerda e MOS correspondentes

mostrados a direita. O provável nível de satisfação dos ouvintes humanos é mostrado no centro.

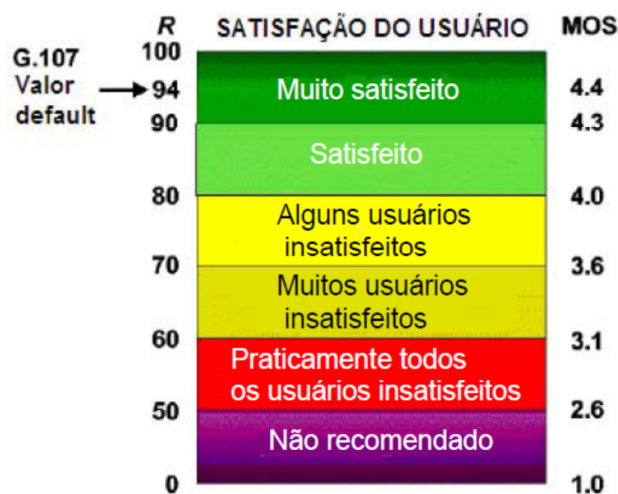


Figura 4 – Avaliação Modelo E
Fonte: ITU-T P. G107

Neste modelo a pontuação MOS pode ser utilizada para determinar qual é a melhor rota ou enlace de transmissão que deve ser utilizado, considerando alguns parâmetros de rede como atraso ou perda de pacotes (GERALD; GEORGE, 2007).

O método de avaliação objetiva descrito pela recomendação ITU-T (Rec. P.563) utiliza um algoritmo padrão para avaliar a qualidade da voz que é aplicável para as previsões da qualidade de voz sem um sinal de referência. Neste método a avaliação de qualidade é feita usando uma fonte desconhecida de áudio recebida através de uma conexão telefônica. O algoritmo especificado por esta recomendação representa o primeiro método internacionalmente reconhecido para avaliação não-intrusiva e será melhor detalhada na seção 2.5 deste trabalho.

2.4 Comparativo entre o modelo Subjetivo e Objetivo

A avaliação subjetiva é influenciada por vários fatores, tais como as preferências individuais do sujeito além do contexto e outras condições do experimento. Deste modo, um processo de regressão é necessário antes que uma comparação direta possa ser feita.

O principal método de regressão para o cálculo da correlação entre a pontuação PESQ e avaliação subjetiva MOS, que foi utilizado na validação do PESQ, usa um polinômio de terceira ordem. Este cálculo é efetuado com base em cada estudo. A comparação deve usar pelo menos quatro diferentes amostras de fala. O resultado da regressão é uma pontuação MOS objetiva. Para ser capaz de comparar a pontuações objetivas e subjetivas, a avaliação subjetiva MOS deve ser proveniente de um teste de escuta que é realizado de acordo com a recomendação (ITU-T, Rec. P.830).

A correlação entre o método objetivo (PESQ) e o método subjetivo (MOS) é feita através do cálculo do coeficiente de correlação. Normalmente isso é feito com a condição média de pontuação após o mapeamento objetivo para uma pontuação subjetiva. O coeficiente de correlação é calculado com base na fórmula de Pearson. De acordo com a recomendação (ITU-T, Rec. P.862), para vinte e dois experimentos de referência conhecida realizados, a correlação média foi de 0,935. Para validação final um conjunto de oito experimentos foi utilizado durante o desenvolvimento do PESQ onde a correlação média foi também de 0,935. Os resultados mostram, portanto, uma alta correlação entre a pontuação subjetiva MOS e objetiva PESQ.

O mapeamento sistemático de regressão elimina qualquer diferença entre a pontuação objetiva e a subjetiva MOS, minimizando o quadrado médio dos erros residuais.

Na validação final do algoritmo PESQ, sete experimentos foram realizados e mostrarão que o erro absoluto foi menor que 0,25 MOS ($\pm 0,25$) em uma escala de 5 pontos, para 72,3% das condições e menos de 0,5 MOS ($\pm 0,5$) em uma escala de 5 pontos, para 91,1% das condições (ITU-T Rec. P.862). Estes resultados mostram a proximidade entre os valores das pontuações objetivas e subjetiva MOS.

2.5 Classificação dos Métodos de Avaliação

A partir do desenvolvimento de diferentes técnicas de avaliação objetiva da qualidade da voz, com base em vários modelos de análise da fala, as medidas objetivas foram separadas em duas classes: intrusiva e não intrusiva, conforme ilustrado na figura 5.

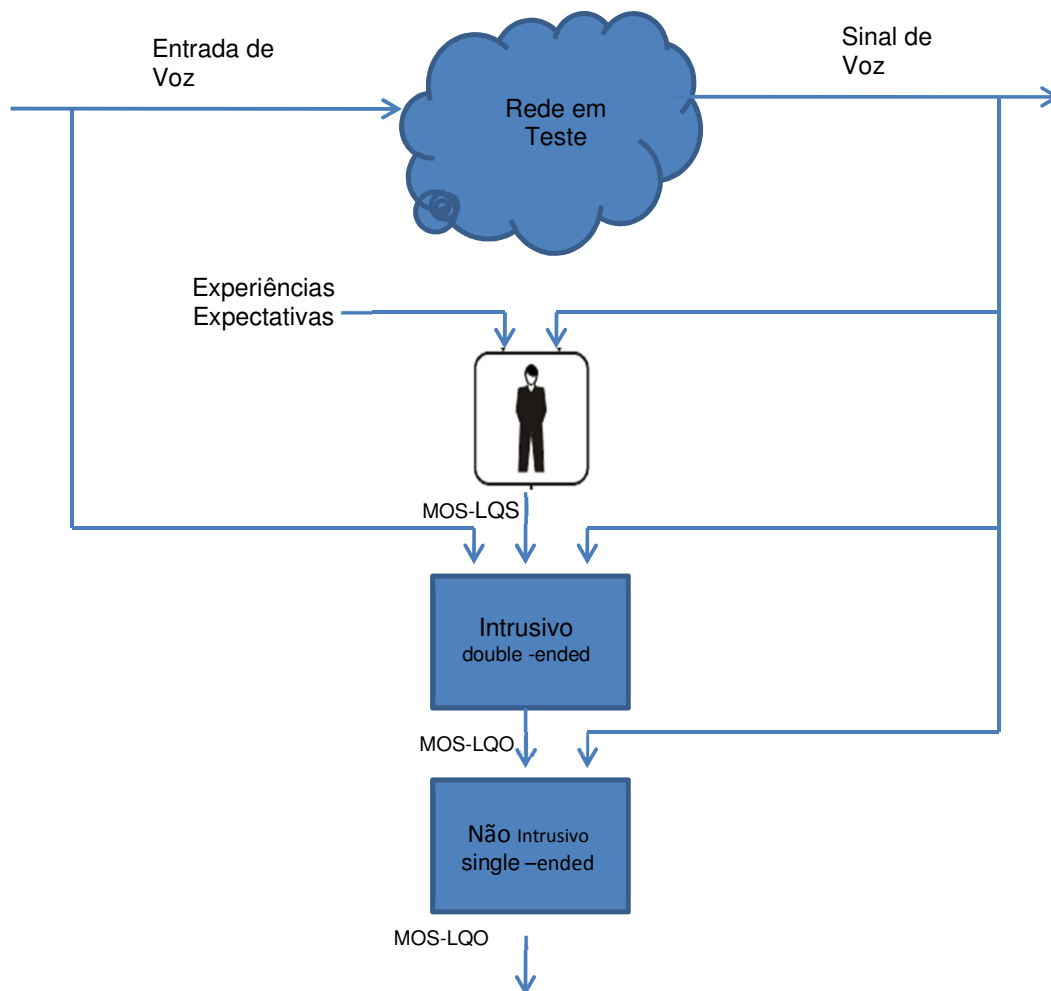


Figura 5: Classificação básica dos métodos de avaliação
 Fonte: Adaptado ITU-T P.563

As medidas intrusivas, muitas vezes referidas também como medidas de entrada para saída (*ou double-ended*) têm sua base na medição do cálculo da distorção entre o sinal original (sem distorção) com o sinal de saída degradados (sinal distorcido). As medidas não intrusivas também conhecidas como medidas com base em resultados ou (*single-ended*), por outro lado, usa apenas o sinal degradado, como base do cálculo de distorção, sem acesso, portanto, ao sinal de voz original.

Os métodos intrusivos de avaliação de qualidade de voz compartilham uma estrutura similar de medição que envolve, segundo (MAHDI,2007) dois processos principais, como mostrado na figura 6. O primeiro processo envolve o pré-processamento do sinal de fala e extração de parâmetros relevantes da fala. Neste

processo o sinal original da fala (entrada) e o sinal degradado que passou por um sistema em teste, ou seja, o sinal de saída é transformado em um domínio relevante, tais como domínio temporal, espectral ou perceptiva. O segundo processo envolve uma medida de distância, segundo a qual a distorção entre a entrada e saída de sinais de voz é calculada usando uma medida quantitativa adequada.

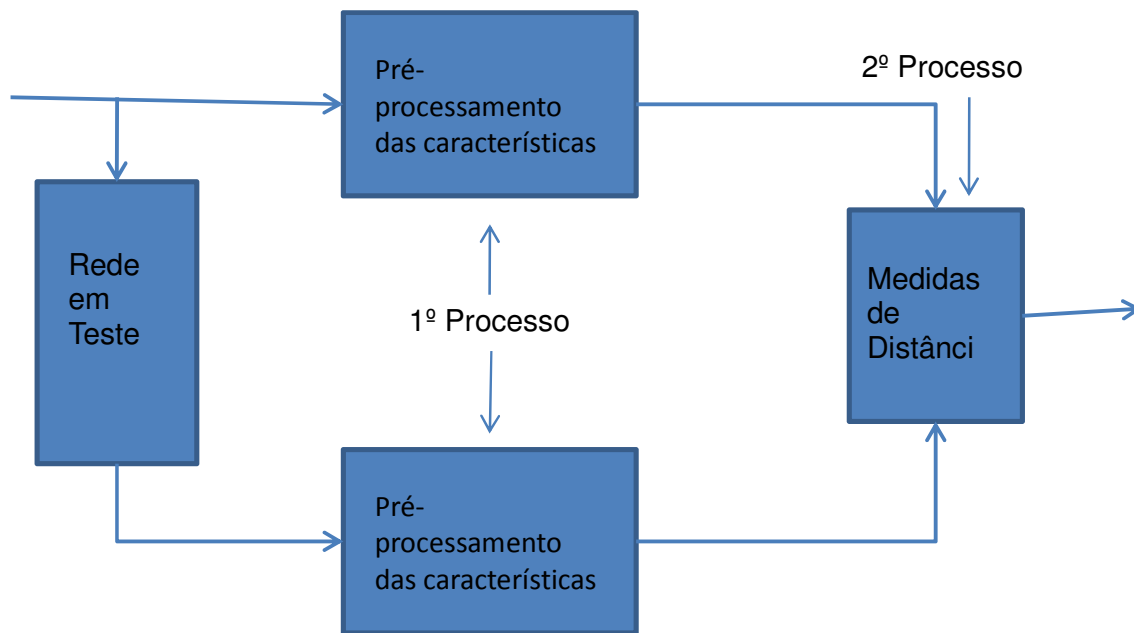


Figura 6: Diagrama básico do método intrusivo
Fonte: Adaptado Mahdi

Medidas de qualidade utilizando o método Intrusivo de avaliação da voz são mais precisos, mas normalmente não são utilizados para monitoramento de tráfego em redes reais. Isso ocorre em função da indisponibilidade do sinal de voz original (sem degradação), como normalmente acontece nas redes de telefonia móvel. Este estudo pretende mudar esta questão, implementando uma nova forma para disponibilização do sinal de referência que antes impossibilitava a aplicação do método intrusivo de avaliação. No capítulo 3 esta abordagem será tratada em maiores detalhes.

O método não intrusivo é baseado em uma abordagem entrada-saída (input-output). Neste método a medida de qualidade de voz possui alguns inconvenientes. O tempo de alinhamento entre os vetores de entrada e saída de voz de todas as medidas, que é conseguido através de sincronização automática, é um factor crucial

para determinar a precisão da medida. A perfeita sincronização é difícil de alcançar, devido a variação do sinal ou de erros de transmissão, falhas que são comuns em sistemas de transmissão sem fio (MAHDI, 2007), conseqüentemente, a degradação no desempenho da medida é inevitável.

Os métodos intrusivos não são capazes de avaliar a qualidade do discurso da voz com precisão usando apenas a saída (ou degradação) do sinal de fala, ou seja, apenas uma extremidade da rede, por essa razão um sinal do audio original (sem degradação) é utilizado como referência.

A recomendação (ITU-T, Rec. P.563) possui o algoritmo padrão de avaliação qualidade não intrusiva da voz, e que trata especificamente das normas para avaliação objetiva de qualidade sem o uso de um sinal de referência.

Esta recomendação também é aplicável para as previsões da qualidade de voz, sem um sinal de referência. Por esta razão, este método é recomendado para a avaliação não intrusiva de qualidade. A avaliação de qualidade é feita usando uma fonte desconhecida de audio recebida através de uma conexão telefônica. O algoritmo representa o primeiro método internacionalmente reconhecido para avaliação não intrusiva em aplicações de medição de qualidade da voz, que leva em conta toda a gama de distorções que ocorrem em redes de telefonia pública comutada PSTN (*Public Switched Telephone Network*), e capaz de prever a qualidade de voz em uma percepção baseada em escala MOS-LQO de acordo com a recomendação (ITU-T, Rec. P.800.1).

Os codificadores testados pela recomendação (ITU-T, Rec. P.563) são codecs de forma de onda, tais como G.711, G.726 e G.727; CELP (*Code-Excited Liner Prediction*) e codecs híbridos com taxas de bit 4 kbit / s, tais como G.728, G.729 e G. 723,1, bem como outros codecs, tais como o GSM-FR (*GSM-Full Rate*), GSM-HR (*GSM Half Rate*), GSM-EFR (*GSM Enhanced Full Rate*), GSM-AMR (*GSM Adaptive Multi Rate*) (ITU-T, Rec. P.563). Neste trabalho somente os codes, referentes às tecnologias utilizadas no cenário usado na coleta de dados, serão analisados.

2.6 Codificadores de Voz

A transmissão e o armazenamento digital da voz vêm sendo, cada vez mais, baseados em algoritmos de compressão de dados, os quais são desenvolvidos

levando-se em consideração as diversas características do sistema auditivo humano. Estes algoritmos não corrigem as distorções do meio e sim trabalham na compensação dos seus efeitos de maneira a que eles sejam minimamente percebidos pelo usuário do sistema.

Há uma grande variedade de codificadores descritos nas recomendações ITU-T e especificações do 3GPP, contudo somente os relevantes a esta pesquisa, serão tratados.

A evolução dos codificadores de voz foi de primordial importância, pois proporcionou também o incremento na capacidade das redes móveis, porém esta evolução precisa ser constantemente avaliada para garantir a correta adequação das taxas de transmissão em relação aos valores de qualidade percebida MOS. Conforme diversos autores (ZEGARRA, ARJORA, 2009), (CHRISTINE *et al*, 2007) e (EI-RAMLY *et al*, 2005) a adequação da taxa de codificação de um codificador multi taxa pode ser determinada, por exemplo, por uma pontuação de qualidade MOS que recebe uma comunicação de voz, tendo como fator de decisão, na escolha da taxa de codificação. Assim quando o canal de comunicação apresenta uma carga muito elevada, a taxa de codificação diminui conseguindo, desta forma, que mais usuários possam utilizar o sistema de comunicação.

Para aumentar a eficiência e a capacidade da rede, diversos métodos, de compressão da voz, são utilizados para compartilhar os recursos disponíveis. Para resolver esta questão, diversos codificadores (*codecs*) de voz foram desenvolvidos. Os *codecs* podem ser classificados em duas grandes categorias:

- Codificadores de forma de onda;
- Codificadores paramétricos.

Os codificadores de forma de onda fornecem um sinal codificado o mais próximo possível do sinal analógico original. Estes codificadores são usados na interconexão física entre os diversos elementos das redes de telefonia móvel, abaixo descrição dos principais usados nos dias atuais:

- PCM (*Pulse Code Modulation*) é um codificador de forma de onda simples e de excelente qualidade de reprodução da voz. O sinal de voz é amostrado na frequência de 8kHz (0,125 ms) e cada amostra é quantizada com 8 bits, fornecendo assim uma taxa binária de 64 kbps. Este *codec* não requer

nenhum armazenamento para sua codificação e sua complexidade não atinge 1MIPS (milhões de instruções por segundo). Este *codec* foi padronizado pelo conforme recomendação (ITU-T, Rec. G.711). Os quadros são compostos de 160 amostras (160 Bytes) o que implica em atraso de 20 ms para formação do pacote.

- ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) especificado pela recomendação (ITU-T, Rec. G.726) assim como no PCM, o sinal também é amostrado a uma taxa de 8 kHz, mas há uma maior compactação do sinal de voz, o que lhe permite alcançar taxas de 40, 32, 24 e 16 kbps. Possui atraso de armazenamento em memória desprezível e seu atraso máximo de codificação não atinge 0,25 ms. A complexidade é considerada mediana, pois apresenta uma demanda de processamento de 10,54 MIPS. Para a taxa de 32 kbps e quadros de 80 bytes o tempo necessário para se formar um quadro é de 20 ms.

Para avaliar sua capacidade, os codecs devem ser testado em todas as taxas de bits em que ele é capaz de operar, deste modo, o codec ADPCM recomendação G.726 deve ser testado nas taxas de 16 kbit/s, 24 kbit/s, 32 kbit/s e 40 kbit/s. Entretanto, a manutenção das taxas de bits, pode depender das condições operacionais e de carga do sistema (ITU-T, Rec. P.84).

Os codificadores paramétricos, por sua vez, modelam o sistema que gera o sinal de voz original e enviam apenas parâmetros deste modelo. Muitos dos codificadores paramétricos se baseiam em predição linear (*Linear Prediction Code - LPC*) para alcançar altas taxas de compressão. Em contrapartida as altas taxas de compressão dos codificadores paramétricos são mais complexas e requerem um armazenamento para o processamento da voz codificada. Um algoritmo de compressão de voz é normalmente avaliado em quatro quesitos:

- Eficiência;
- Complexidade;
- Atraso;
- Qualidade.

A eficiência é normalmente representada pela taxa binária necessária para a transmissão da voz. A complexidade é medida em milhões de instruções por

segundo (MIPS) necessárias na codificação do sinal. O atraso corresponde ao tempo em milissegundos que é necessário armazenar a voz para que o algoritmo de compressão seja aplicado e a qualidade é medida por testes conforme as recomendações (ITU-T, Rec. P.800, Rec. P.810 e Rec. P.830).

A rede GSM, tecnologia usada como base desta pesquisa, usa uma variedade de codecs paramétricos de voz para comprimir os 3,1 kHz de áudio entre 5,6 e 13 Kbit/s. Inicialmente dois codecs, nomeado após o tipo de canal de dados que foram imputados, foram utilizados, são eles: Half Rate (5,6 kbit / s) e Full Rate (13 kbit / s). Estes codecs além de serem eficientes com a taxa de bit, também tornou mais fácil a identificação das partes mais importantes do áudio, permitindo com isso, que a camada de interface aérea priorize e melhor proteja estas partes do sinal.

Em 1997 o ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*) publicou a EN (*European Standard*) 301 243 V4. 0.1 padronizando o *Enhanced Full Rate Codec* (EFR), a 12,2 kbit/s que usa um canal de taxa plena(*full-rate*). Finalmente, com o desenvolvimento do UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), o EFR foi transformado em um codec de taxa variável chamada *Adaptive Multi Rate* (AMR), que é robusto e de alta qualidade contra interferências quando utilizado em canais *full rate*, e menos robusto, mas ainda relativamente de alta qualidade quando usado em boas condições de rádio nos canais *half-rate*.

2.7 Indicadores relacionados à qualidade de voz em uma rede celular

Diversos indicadores estão relacionados à qualidade de voz e são frequentemente usados para determinar quão boa está uma chamada telefônica. Embora estes indicadores sejam comumente usados, muitas vezes a relação entre os seus resultados e a efetiva qualidade da conversação é distorcida, ou seja, os resultados destes indicadores nem sempre indicam uma boa qualidade de voz. Os principais indicadores relacionados a qualidade de voz em uma rede celular são brevemente descritos abaixo:

O *RxLevel* - Nível de sinal recebido na entrada do receptor do telefone móvel e da estação rádio base, seus valores correspondem ao intervalo de -110 dBm e -48 dBm com uma precisão absoluta de ± 4 dB em condições normais. Desta forma quanto menor for o nível de sinal recebido pelo móvel ou pela estação rádio base,

maior será a dificuldade de decodificação e conseqüentemente pior a qualidade da voz. Para os valores de *RxLev* o nível de sinal medido deve ser mapeado entre 0 e 63, como segue:

RXLEV	0	=	menor que		-110 dBm.
RXLEV	1	=	-110 dBm	a	-109 dBm.
RXLEV	2	=	-109 dBm	a	-108 dBm.
			:		
			:		
RXLEV	62	=	-49 dBm	a	-48 dBm.
RXLEV	63	=	maior que		-48 dBm.

Qualidade de Recepção ou *RxQual* é uma medida entre 0 e 7 onde os valores correspondem a um número estimado de erro de bits em determinado volume de dados recebidos. Na transmissão da voz o RxQual nos mostra a porcentagem da taxa de dados perdida e pode ou não ter relação com o RxLevel, ou seja, taxas de erro podem ocorrer mesmo com bom nível de recepção. Cada valor RXQUAL corresponde a uma taxa estimada de erro de bit, para RxQual igual a zero indica uma taxa de erro insignificante ou nula, para os valores seguintes ocorre aumento gradativo da taxa de erro de bit conforme demonstrado abaixo (ETSI, TS GSM 05.08):

RxQual	Taxa de Erro (BER)
0	BER < 0.2%
1	0.2% < BER < 0.4%
2	0.4% < BER < 0.8%
3	0.8% < BER < 1.6%
4	1.6% < BER < 3.2%
5	3.2% < BER < 6.4%
6	6.4% < BER < 12.8%
7	12.8% < BER

FER (*Frame Erase Rate*) - é um valor entre 0 e 100% que é calculado uma vez a cada multiquadro de sinalização de dados e sincronizados com os valores RXQUAL. O valor apresentado em FER é baseado no número de blocos que tenham sido descartados devido a erro no CRC (Check de Redundância Cíclica). A formula de calculo FER está demonstrado abaixo.

$$FER = \frac{\text{número de blocos com CRC incorreto}}{\text{número total de blocos}} * 100$$

O efeito de eco é outro fator que influencia a qualidade de uma ligação telefônica, ocorre com maior frequência nos casos onde a interconexão de equipamentos é feita via satélite onde a defasagem da voz fica acima dos 32s, neste caso, surge no usuário receptor uma sensação de desconforto.

2.8 Métodos de Avaliação de Desempenho das Redes Celulares

O controle da qualidade das redes celulares de todas as operadoras no Brasil é acompanhado pela ANATEL. As definições, métodos e frequência de coleta dos indicadores qualidade são estabelecidos de acordo com as metas apresentadas no Plano Geral de Metas de Qualidade para o Serviço Móvel Pessoal PGMQ-SMP (ANATEL, 2003, r.335). Os relatórios, com dados primários coletados para o cálculo e consolidação dos indicadores devem ser enviados mensalmente a ANATEL no máximo até o dia 10 do mês subsequente aos da coleta. Caso algum indicador tenha ficado abaixo do estabelecido no PGMQ-SMP, a operadora deve enviar, também no mesmo prazo, relatório específico incluindo diagnóstico e ações desenvolvidas visando o atendimento das metas.

Dos doze indicadores usados atualmente pela ANATEL para avaliar a qualidade dos serviços prestados aos usuários dos serviços móveis, mostrados na Tabela 1, nenhum deles contempla a avaliação da qualidade voz. Do total dos indicadores monitorados pela agência somente alguns são efetivamente relacionados à qualidade da rede, são eles:

- **SMP1 – Taxa de Reclamações:** é a relação entre o número total de reclamações e o número total de Acessos em Operação, no último dia do mês. Sua representação matemática é a seguinte:

$$SMP1 = \frac{A}{B} \times 100$$

Onde:

A - número total de reclamações no mês;

B - número total de Acessos em Operação na rede da prestadora no último dia do mês.

Os métodos de Coleta para efeito de reclamações deste indicador estão descritos a seguir:

- Presencial;
- Telefone;
- Carta de qualquer tipo;
- Telegrama;
- Fax;
- Correio eletrônico;
- Qualquer outro meio existente ou que venha a ser criado.

A Forma de Apresentação dos dados relativos a este indicador deve ser feita contendo informações mês a mês por Área de Prestação da operadora e por área definida pelo Código Nacional contida na Área de Prestação.

- **SMP2 – Taxa de Reclamação de Cobertura e de Congestionamento de Canal de Voz por 1.000 (mil) Acessos em Operação:** representa o número total de reclamações de cobertura, acrescido do número total de reclamações de congestionamento de canais de voz no mês por 1000 (mil) Acessos em Operação no último dia do mês. Sua representação matemática é a seguinte:

$$SMP2 = \frac{A + B}{C} \times 1000$$

Onde:

A – representa o número total de reclamações de cobertura no mês;

B – representa o número total de reclamações de congestionamento de canais de voz no mês;

C – representa o número total de Acessos em Operação no último dia do mês.

A coleta deste indicador é feita através da contagem mensal de qualquer forma de reclamação de cobertura e congestionamento de canais de voz recebidos pela operadora. Os meios de reclamações são os mesmos definidos no SMP1.

- **SMP5 – Taxa de Chamadas Originadas Completadas:** é a relação percentual entre o número total de chamadas originadas completadas e o número total de tentativas de originar chamadas, em cada PMM (Período de Maior Movimento), no mês. Sua representação matemática é a seguinte:

$$SMP5 = \frac{A}{B} \times 100$$

Onde:

A - número total de chamadas originadas completadas, em cada PMM, no mês;

B - número total de tentativas de originar chamadas, contadas a partir da alocação do canal de voz, em cada PMM, no mês.

O método de Coleta deste indicador é feita pela contagem de todas as chamadas originadas completadas e pela contagem de todas as tentativas de originar chamadas em cada PMM, no mês, por CCC (Central de Comutação e Controle) existente. A contagem das tentativas de originar chamadas deve se dar a partir da alocação do canal de voz, por CCC analisada. Os dados para obtenção deste indicador devem ser retirados dos arquivos de tarifação ou de tráfego das CCC, sendo a coleta efetuada de acordo com o calendário anual para coleta de dados a ser encaminhado pela Anatel até o dia 10 (dez) de dezembro de cada ano.

Devem ser consideradas como chamadas completadas aquelas chamadas originadas em que houve atendimento e comunicação, como também as chamadas interceptadas com mensagens de orientação aos usuários. Para efeito de cálculo deste indicador devem ser consideradas como chamadas completadas todas as chamadas reencaminhadas para o correio de voz;

- **SMP6 – Taxa de Estabelecimento de Chamadas:** é a relação percentual entre o número total de chamadas originadas estabelecidas em tempo não superior a 10 (dez) segundos e o número total de tentativas de estabelecer chamadas, em cada PMM, no mês. A representação matemática deste indicador é a seguinte:

$$SMP6 = \frac{A}{B} \times 100$$

Onde:

A - número total de chamadas originadas estabelecidas em tempo não superior a 10 (dez) segundos, em cada PMM, no mês;

B - número total de tentativas de estabelecer chamadas, em cada PMM, no mês.

A Coleta deste indicador é feita de maneira similar ao SMP5 considerando neste caso que a contagem de todas as chamadas originadas estabelecidas e das tentativas de estabelecer chamadas, em cada PMM, no mês, não seja superior a 10 (dez) segundos por CCC existente. O tempo considerado para o estabelecimento da chamada tem início a partir da alocação do canal de voz, por CCC analisada.

Os dados para obtenção deste indicador também devem ser retirados dos arquivos de tarifação ou de tráfego das CCC, sendo a coleta efetuada conforme calendário anual para coleta de dados e encaminhado para Anatel sempre até o dia 10 (dez) de dezembro de cada ano;

- SMP7 – Taxa de Queda de Ligação: é a relação percentual entre o número total de chamadas interrompidas por queda de ligação, na rede da prestadora, e o número total de chamadas completadas na mesma rede, em cada PMM, no mês. A representação matemática deste indicador é mostrada abaixo:

$$SMP7 = \frac{A}{B} \times 100$$

Onde:

A - número total de chamadas interrompidas por queda de ligação, em cada PMM, no mês;

B - número total de chamadas completadas, em cada PMM, no mês.

A Coleta deste indicador é feita pela contagem mensal das chamadas interrompidas por queda de ligação e pela contagem mensal de todas as chamadas completadas, na rede da prestadora, em cada PMM, por CCC existente;

- SMP12 – Taxa de Recuperação de Falhas/Defeitos: é a relação percentual entre o número de falhas/defeitos com interrupção de serviço, ocorridos no mês, na rede da prestadora, recuperados em até 24 (vinte e quatro) horas e o número total de falhas/defeitos com interrupção de serviço, ocorridos na rede da prestadora, no mês. Sua representação matemática é mostrada abaixo:

$$SMP12 = \frac{A}{B} \times 100$$

Onde:

A - número de falhas/defeitos com interrupção de serviço, ocorridas no mês, na rede da prestadora, recuperados em até 24 (vinte e quatro) horas;

B - número total de falhas/defeitos com interrupção de serviço, ocorridos na rede da prestadora, no mês.

O método de coleta é feito através da contagem mensal do número de falhas/defeitos com interrupção de serviço, ocorridas no mês, nos equipamentos ou aparelhos, de responsabilidade da prestadora ou de terceirizado desta, recuperados em até 24 (vinte e quatro) horas. Considera-se como falhas/defeitos qualquer ocorrência em um sistema ou rede de telecomunicações que os impossibilite de realizar normalmente suas funções.

Os demais indicadores de avaliação são usados pela agência reguladora para avaliar outras questões do sistema móvel como, por exemplo, avaliação de atendimento ao usuário e taxas de emissão de contas que não possuem nenhuma relação com esta pesquisa. Um resumo dos indicadores e suas metas são mostrados na tabela 1.

Tabela 1: Indicadores de Qualidade Anatel

Indicadores de Qualidade		
SMP1	Taxa de Reclamação	< 1%
SMP2	T. Cobert. e de Congest. CH de voz por 1.000	< 4%
SMP3	T. Chamadas Comp. p/ centros de atend.	> 98%
SMP4	T. Atend. por telef. / Atend. Em Sist Automático	> 95%
SMP5	T. Chamadas Originadas Completadas	> 67 %
SMP6	T. de Estabelecimento de Chamadas	> 95%
SMP7	T. de queda de ligação	< 2%
SMP8	T. de Resposta ao Usuário	> 95%
SMP9	T. de Resposta aos Pedidos de Informação	> 95%
SMP10	T. de Atendimento Pessoal ao Usuário	> 95%
SMP11	T. de Atend. Relativos à contas p/ 1000 contas	< 5%
SMP12	T. de recuperação de Falhas / Defeitos	> 95%

Fonte: Adaptado Anatel

O regulamento de indicadores de qualidade do SMP visa atender os requisitos e anseios dos usuários quanto à qualidade e confiabilidade dos serviços prestados por todas as prestadoras, porém, nenhum dos indicadores cobrados pela ANATEL, monitora a qualidade de voz das redes celulares. Essa indefinição abre uma lacuna no controle da qualidade do serviço de voz, visto que, ainda hoje, este é o principal serviço prestado.

Os relatórios, disponibilizados pelo Sistema de Gerenciamento de Indicadores de Qualidade – SGIQ, no Site da Anatel, do período Maio a Julho de 2011 mostram que a grande maioria das metas dos indicadores, da região norte, foram atendidos pelas operadoras, com exceção de uma no SMP4, onde os resultados ficaram abaixo da meta nos estados Amazonas, Amapá, Roraima e Maranhão, nos meses de Maio de Junho nos horários da manhã e da noite. O SMP4 é o indicador que trata da taxa de atendimento pelo atendente em sistemas de atendimento eletrônico das operadoras os chamados “*Call Center*”. Este indicador não possui qualquer relação com a avaliação da qualidade da rede de voz prestada pelas operadoras.

Todos ou outros indicadores indicam que a qualidade da rede está perfeitamente aceitável, segundo o atual método de avaliação usado pela Agência reguladora, porém estes resultados não revelam a real situação da rede, visto que não considera a avaliação percebida pelos usuários, maiores interessados na qualidade do serviço de voz a ele oferecido.

A figura 7 mostra os dados, dos atuais 12 indicadores SMPs, retirados do SGIQ, para as principais operadoras da região Norte. Os dados em destaque, apresentados na figura 7, indicam que apenas o SMP4 de uma única operadora, em diferentes períodos, ficaram abaixo da meta de 95% estabelecida pela Anatel.

Gerenciamento de Indicadores de Qualidade de Serviço -SGIQ

Ind. mês: 05 / 2011

EMPRESAS PRESTADORAS DO PGMQ-SMP	SMP1	SMP2	SMP3			SMP4			SMP5			SMP6			SMP7			SMP8	SMP9	SMP10	SMP11	SMP12	
			Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite						
CLARO S.A. - AM-AP-PA-MA-RR	M	1,00	4,00	98,00	98,00	98,00	95,00	95,00	95,00	67,00	67,00	67,00	95,00	95,00	95,00	2,00	2,00	2,00	95,00	95,00	95,00	5,00	95,00
	R	0,41	0,22	98,93	99,72	98,71	94,67	98,48	94,97	74,88	73,79	69,43	98,84	98,91	98,80	0,45	0,36	0,56	99,39	99,98	98,28	1,14	99,23
TIM CELULAR S.A. - Região I	M	1,00	4,00	98,00	98,00	98,00	95,00	95,00	95,00	67,00	67,00	67,00	95,00	95,00	95,00	2,00	2,00	2,00	95,00	95,00	95,00	5,00	95,00
	R	0,37	0,24	99,66	99,69	99,70	100,00	100,00	100,00	80,44	80,17	78,41	98,31	98,33	98,49	0,53	0,65	0,87	99,27	99,99	96,32	1,83	99,78
VIVO S.A.-AM, PA, RR, AP e MA	M	1,00	4,00	98,00	98,00	98,00	95,00	95,00	95,00	67,00	67,00	67,00	95,00	95,00	95,00	2,00	2,00	2,00	95,00	95,00	95,00	5,00	95,00
	R	0,10	0,02	99,48	99,65	99,55	99,81	98,90	99,21	82,87	83,08	83,07	99,88	99,92	99,85	0,43	0,36	0,52	99,93	100,00	98,70	0,35	99,48

Gerenciamento de Indicadores de Qualidade de Serviço -SGIQ

Ind. mês: 06 / 2011

EMPRESAS PRESTADORAS DO PGMQ-SMP	SMP1	SMP2	SMP3			SMP4			SMP5			SMP6			SMP7			SMP8	SMP9	SMP10	SMP11	SMP12	
			Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite						
CLARO S.A. - AM-AP-PA-MA-RR	M	1,00	4,00	98,00	98,00	98,00	95,00	95,00	95,00	67,00	67,00	67,00	95,00	95,00	95,00	2,00	2,00	2,00	95,00	95,00	95,00	5,00	95,00
	R	0,30	0,14	99,55	99,47	99,61	94,35	98,86	97,60	74,78	74,10	70,46	98,63	98,69	98,50	0,42	0,42	0,54	99,68	99,98	98,15	0,92	95,29
TIM CELULAR S.A. - Região I	M	1,00	4,00	98,00	98,00	98,00	95,00	95,00	95,00	67,00	67,00	67,00	95,00	95,00	95,00	2,00	2,00	2,00	95,00	95,00	95,00	5,00	95,00
	R	0,37	0,27	99,85	99,83	99,87	100,00	100,00	100,00	80,23	79,57	78,06	98,26	98,37	97,98	0,57	0,58	1,03	99,39	100,00	96,80	1,80	99,51
VIVO S.A.-AM, PA, RR, AP e MA	M	1,00	4,00	98,00	98,00	98,00	95,00	95,00	95,00	67,00	67,00	67,00	95,00	95,00	95,00	2,00	2,00	2,00	95,00	95,00	95,00	5,00	95,00
	R	0,09	0,01	99,27	99,22	99,26	99,24	99,18	99,32	82,63	82,45	81,54	99,89	99,92	99,86	0,43	0,37	0,52	99,91	100,00	97,85	0,30	99,68

Gerenciamento de Indicadores de Qualidade de Serviço -SGIQ

Ind. mês: 07 / 2011

EMPRESAS PRESTADORAS DO PGMQ-SMP	SMP1	SMP2	SMP3			SMP4			SMP5			SMP6			SMP7			SMP8	SMP9	SMP10	SMP11	SMP12	
			Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite						
CLARO S.A. - AM-AP-PA-MA-RR	M	1,00	4,00	98,00	98,00	98,00	95,00	95,00	95,00	67,00	67,00	67,00	95,00	95,00	95,00	2,00	2,00	2,00	95,00	95,00	95,00	5,00	95,00
	R	0,54	0,69	99,54	99,47	99,77	99,04	97,61	97,59	75,67	74,37	69,70	98,90	98,95	98,93	0,44	0,43	0,66	99,74	100,00	98,45	1,08	95,19
TIM CELULAR S.A. - Região I	M	1,00	4,00	98,00	98,00	98,00	95,00	95,00	95,00	67,00	67,00	67,00	95,00	95,00	95,00	2,00	2,00	2,00	95,00	95,00	95,00	5,00	95,00
	R	0,39	0,27	99,88	99,47	99,74	100,00	99,99	100,00	80,75	80,75	78,57	98,24	98,28	98,13	0,58	0,61	0,91	99,43	99,99	96,70	2,16	99,46
VIVO S.A.-AM, PA, RR, AP e MA	M	1,00	4,00	98,00	98,00	98,00	95,00	95,00	95,00	67,00	67,00	67,00	95,00	95,00	95,00	2,00	2,00	2,00	95,00	95,00	95,00	5,00	95,00
	R	0,10	0,01	99,51	99,49	99,64	97,79	96,56	97,36	82,52	82,48	81,81	99,88	99,92	99,77	0,45	0,39	0,54	99,88	100,00	98,38	0,34	99,60

Figura 7: Gerenciamento de Indicadores de Qualidade SMP meses Maio Junho e Julho
Fonte: Anatel

Existem também equipamentos que avaliam a qualidade do sinal de voz em uma rede celular utilizando a recomendação ITU (Rec. P.862), contudo fica a critério da equipe de planejamento das operadoras decidirem se usa este ou outro método de avaliação. O processo é totalmente feito de forma manual e conseqüentemente leva um período considerável de tempo, tornando difícil a avaliação total da

cobertura da operadora celular, além dos custos associados com recursos materiais e humanos na realização dos testes em campo.

Outra importante ferramenta que, segundo a proposta deste trabalho, pode auxiliar no mapeamento preciso da rede, são os serviços de localização do usuário, denominados como LBS (*Location Based Services*). As atuais redes 2G e 3G, usam esta tecnologia para prover dados para aplicativos de localização. A especificação Técnica 3GPP (TS 22.071, 2003) dá uma descrição, e fornece os requisitos gerais, do serviço LBS para redes 3G.

2.8.1 Avaliação de cobertura da rede – Drive Test

Após a alteração de quaisquer parâmetros na rede, como por exemplo, instalação de novos *Base Transmission Stations* (BTS), realocação de grupos de canais de rádio ou alterações de grupos de frequências, o projeto de rádio frequência (RF) deve ser reavaliado, seja através da análise dos indicadores de desempenho de rede (KPI) ou ainda através de ferramentas de predição de sinal e interferência. Uma outra maneira bastante comum e eficiente, usado pelas operadoras, de se avaliar a rede é realizando um *Drive Test*.

O *Drive Test* é um teste realizado nas redes celulares independente de sua tecnologia (GSM, CDMA, UMTS, LTE, etc...). Significa coletar dados com veículo em circulação pelas ruas das cidades. Tem sua variação também intuitiva definida pelo *Walk Test*, ou seja, coletar dados andando pelas áreas de interesse.

As análises de drive test são fundamentais para o trabalho otimização das redes celulares e são compreendidos em duas fases: execução da coleta e análise dos dados coletados. Basicamente, para realizarmos um drive test utilizamos:

- Notebook - ou outro hardware semelhante;
- Software de Coleta instalado;
- Chave de Segurança – Dongle – comum a estes tipos de softwares;
- Telefone Celular;

- GPS(*Global Positioning System*);
- Scanner.

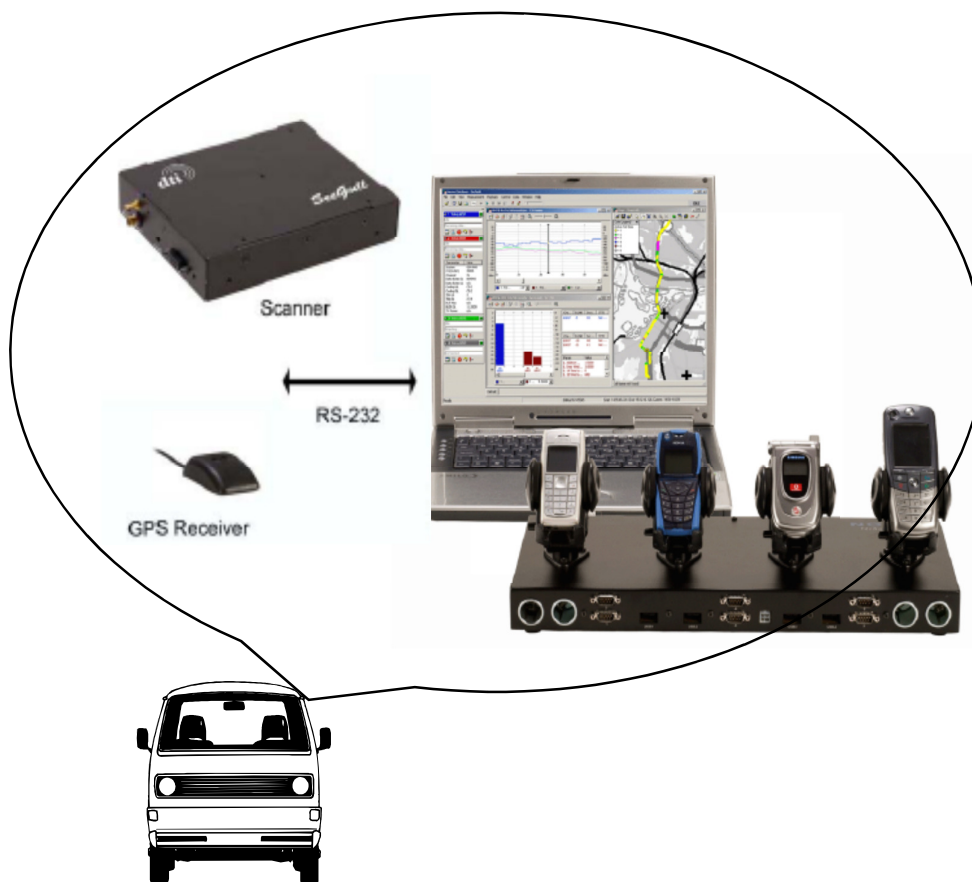


Figura 8: Equipamentos Drive Test
 Fonte: Adaptado TelecomHall, 2010

O GPS coleta os dados de latitude e longitude de cada ponto/medida, dados de hora, velocidade, etc. Também é útil como guia para a execução das rotas corretas. O telefone celular coleta como nível de sinal, melhor servidor, etc..., já o scanner faz a coleta dos dados de toda a rede, uma vez que o móvel é um rádio limitado, e não manipula todos os dados necessários para uma análise mais completa.

O objetivo principal do teste é coletar os dados, mas os mesmos podem ser vistos/analísados em tempo real durante o teste, permitindo uma visualização da performance da rede em campo. Os dados de todos os equipamentos são

agrupados pelo software de coleta e armazenados em um ou mais arquivos de saída.

Embora através da análise de KPI's seja possível identificar problemas como, por exemplo, queda de chamadas, bloqueio entre outros, é através do drive test que uma análise mais profunda é feita, no entanto nenhum das análises avaliam a qualidade da voz, uma vez que a chamada foi estabelecida, além de sempre haver uma grande possibilidade de problemas, que embora evitáveis, sempre acabam ocorrendo (TELECOMHALL, 2010).

Para que a operadora tenha uma visão geral da sua rede é necessário que estes testes sejam executados em todas as cidades em que ela possua cobertura. Os arquivos precisam ainda ser enviados e processados, o que acaba consumindo uma significativa parcela de tempo até que os resultados definitivos estejam prontos para serem analisados. O constante crescimento e o dinamismo das redes em função da crescente demanda (ANATEL, 2011), obriga as operadoras a constante instalação de novas estações, fazendo, desta forma, uma frequente execução de drive teste na rede. A proposta desta pesquisa vem solucionar esta questão, não só pelos custos envolvidos nesta atividade, mais principalmente pelo tempo de resposta da análise dos dados, visto que os dados são coletados dos próprios usuários em tempo real.

3 METODOLOGIA

A metodologia de execução dos testes é aplicada através de chamadas automáticas ponto-a-ponto geradas a partir do software de avaliação. As condições de igualdade em todos os parâmetros de configuração e execução foram respeitadas, permitindo dessa forma, identificar em campo a qualidade de serviço, dando uma perspectiva tão realista quanto possível do desempenho das redes, do ponto de vista do usuário final.

Por outro lado, a utilização de um único sistema de testes para avaliar os serviços, disponibilizados nas três redes móveis testadas, permitiu um alto grau de comparabilidade dos resultados.

3.1 Tipo de Pesquisa

Esta pesquisa consiste no aprofundamento de conceitos sobre a avaliação de voz do sistema móvel celular em Manaus, levando-se em consideração a percepção de qualidade subjetiva do usuário deste sistema. Em função desta temática ter sido preliminarmente pouco explorada, esta pesquisa contribui para o esclarecimento das questões abordados sobre o assunto. Por esta razão, no que se refere aos objetivos foi classificada como pesquisa exploratória. A pesquisa exploratória é desenvolvida no sentido de proporcionar uma visão geral acerca de um determinado fato (Gil, 1999, p.25). Deste modo, esse tipo de pesquisa é realizado, sobretudo, quando o tema é pouco explorado é tornar-se, portando, difícil formular hipóteses precisas. A pesquisa exploratória possui algumas finalidades primordiais: proporcionar maiores informações sobre o assunto que se vai investigar; facilitar a delimitação do tema de pesquisa; orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses; ou ainda descobrir um novo enfoque sobre o assunto. Neste sentido, explorar significa reunir mais conhecimento e incorporar novas características, bem como buscar novos enfoques até então não conhecidos (ANDRADE, 2002).

Nesta pesquisa a variável AS (avaliação subjetiva) foi utilizada, juntamente com a avaliação objetiva, para compor a fórmula matemática dos indicadores propostos (item 3.2). A manipulação desta variável foi de fundamental importância

para provar a influência da avaliação subjetiva percebida pelo usuário no resultado final do indicador proposto. No que tange ao delineamento este estudo, portanto, se enquadra em pesquisa experimental, visto que uma variável foi manipulada pelo pesquisador para comprovar a eficiência do modelo. Kerlinger (1980, p.125) ressalta que “um experimento é um estudo no qual uma ou mais variáveis independentes são manipuladas e no qual a influência de todas ou quase todas as variáveis relevantes possíveis não pertinentes ao problema da investigação é reduzida ao mínimo”.

Na análise básica da avaliação da qualidade de voz demonstrada nesta pesquisa, não foram utilizados instrumentos estatísticos, deste modo, todas as avaliações subjetivas e objetivas foram consideradas nos resultados dos indicadores. Esta característica classifica, quanto à abordagem do problema, como pesquisa qualitativa. Segundo Richardson (1999) a principal diferença entre as abordagens qualitativa e quantitativa reside no fato de que na abordagem qualitativa não é empregado um instrumento estatístico como base do processo de análise do problema. Richardson (1999) afirma ainda que as investigações que se voltam para uma análise qualitativa têm como objetivo estudar situações complexas ou bastantes particulares, como no caso desta pesquisa. Estudos que empregam a metodologia qualitativa podem descrever melhor a complexidade dos problemas, contudo, haverá sempre a possibilidade de emprego do potencial do método quantitativo ao método qualitativo.

3.2 Coleta de Dados

Os dados foram coletados em campo utilizando ferramentas de *drive tests* o que, além de possibilitar uma avaliação das redes na perspectiva final do usuário, permite que a realização dos testes seja feita de forma independente da qualidade da rede, significa dizer que as áreas de boa cobertura ou mesmo em áreas de cobertura deficiente são consideradas na análise.

Na proposta original desta pesquisa os dados das avaliações subjetivas são coletados utilizando uma aplicação MOS embarcada nos celulares dos usuários que aceitaram participar do processo de melhoria da qualidade de voz. Este aplicativo pode ser também ser disponibilizado através de acesso ao site do patrocinador. Para estimular a participação no processo de avaliação subjetiva o patrocinador poderá

também oferecer, aos usuários, benefícios como brindes ou bônus em ligações, semelhante, como hoje é oferecido em outras promoções. A figura 9 mostra exemplo de como a pontuação é feita pelo usuário e enviada ao SQ. A aplicação poderá ser iniciada através da mensagem de fim-de-chamada ou, pelo próprio usuário a qualquer tempo, através do “*menu*” da aplicação.

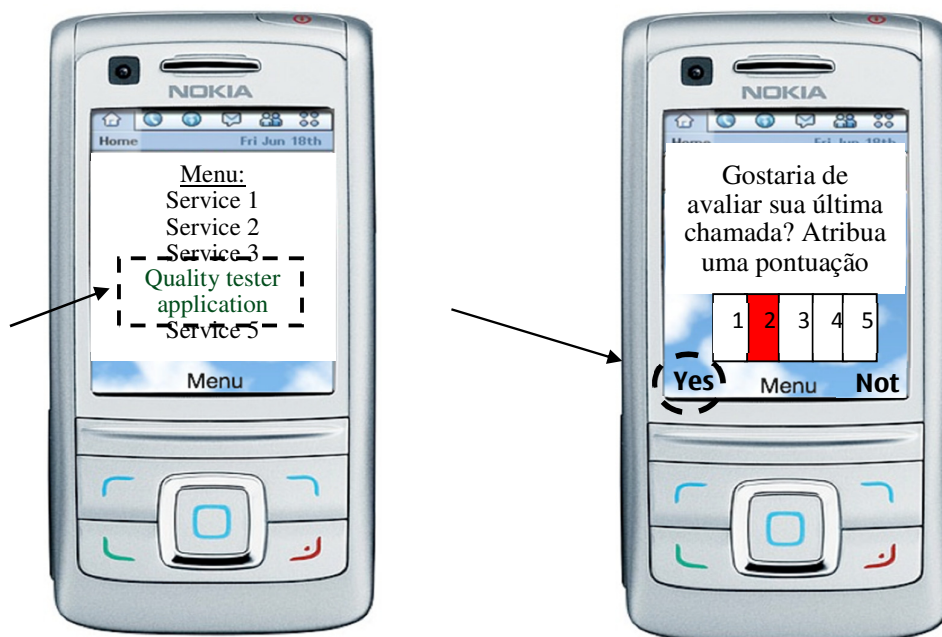


Figura 9: Aplicação MOS
Fonte: Autor

Um dos objetivos desta pesquisa é mostrar a influência das avaliações subjetivas dos usuários nos indicadores de qualidade propostos. Em função disto a avaliação subjetiva (AS) que corresponde ao MOS-LQS, efetuada pelos usuários, foi uma variável manipulada pelo pesquisador para mostrar o impacto destas avaliações no processo final de composição do indicador.

Para obtenção dos dados de avaliação objetiva, arquivos de áudio armazenados no telefone móvel são executados pela aplicação MA a pedido do SQ, através da rede móvel em teste. O arquivo degradado é então capturado pelo SQ e comparado com arquivo similar sem degradação armazenado também no SQ.

Através do algoritmo PESQ (ITU-T P.862), os arquivos de áudio, original e degradado, são comparados, pelo software E6474A da Agilent, e uma pontuação

MOS-LQO lhe é atribuída. Os arquivos usados nos testes estão em acordo com a recomendação ITU-T P. 800. Estes arquivos possuem duração em torno de 8 a 15s e são compostos por uma sequência lógica da fala humana em duas frases separadas por um intervalo de silêncio. A figura 10 mostra o fluxo do processo para obtenção da avaliação objetiva.

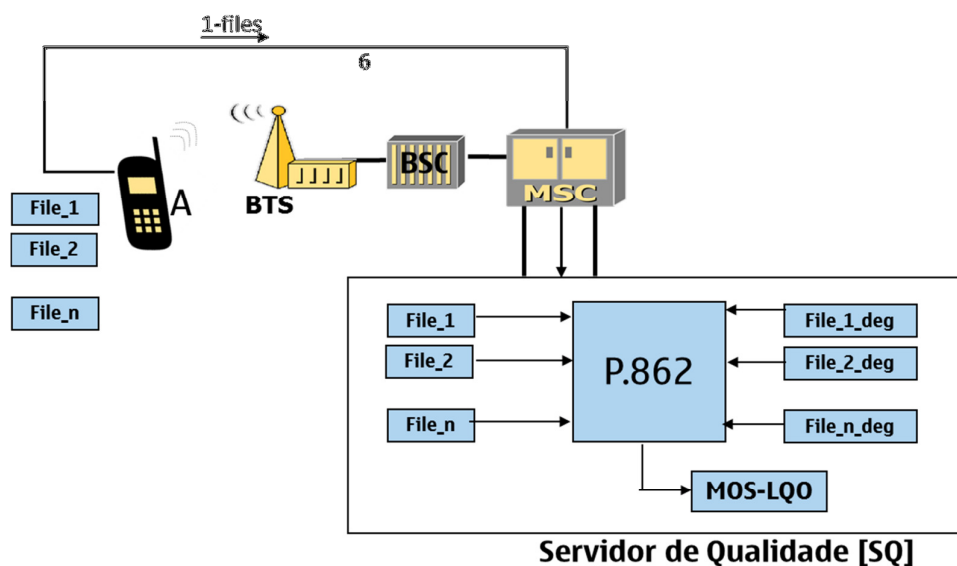


Figura 10: Avaliação Objetiva
Fonte: Autor

Após a coleta dos MOS-LQS e MOS-LQO, os valores são inseridos na fórmula matemática para compor a média das avaliações. Esta média representa uma das entradas, para composição do indicador proposto.

Os arquivos gerados pelo software de avaliação E6474A são exportados para formato texto e convertidos para o formato de planilha eletrônica, disponibilizando, deste modo, os dados para tratamento.

3.3 Metodologia de Avaliação

A metodologia proposta para o processo de avaliação dos índices da qualidade do serviço de voz na arquitetura de rede é realizado de acordo com os seguintes passos:

1. O usuário A finaliza uma conversação telefônica qualquer com uma determinada qualidade voz percebida pelo mesmo; a aplicação MA apresenta um “*menu*” no aparelho questionando se o usuário deseja avaliar a qualidade de voz de sua última chamada (isso pode ocorrer no final da chamada ou a qualquer tempo a critério do usuário através de acesso ao Menu da aplicação). Após aceitado participar do processo, o usuário faz uma avaliação subjetiva em uma escala de 1 a 5 (1-Péssimo, 2-ruim, 3-Regular, 4-Bom, 5-Ótimo). Ao preencher a avaliação e escolher OK a aplicação envia uma mensagem, que para a arquitetura proposta pode ser, por exemplo, um SMS (*Short Message Service*), o qual tem a informação do número de A, a avaliação subjetiva percebida pelo usuário assim como o LA (*Large Account*) que identifica o SQ (Servidor de Qualidade) no SMSC (*Short Message Service Center*);
2. O SMSC envia a informação provida pelo usuário ao SQ;
3. O SQ, após receber solicitação de avaliação, faz uma chamada de voz, através da rede, para o número do usuário A (de forma transparente, i.e., entre o SQ e a aplicação do cliente). O SQ solicita à aplicação a execução de arquivos de áudio (previamente armazenados no dispositivo móvel) através da rede;
4. O SQ solicita ao LBS e HLR, informações de células e localização geográfica (coordenadas) do usuário A;
5. Em resposta a solicitação do SQ o LBS envia o identificador da célula e as coordenadas geográficas de A (latitude longitude);
6. Após o processamento dos arquivos de áudio executados no item 3, o SQ executa algoritmos para determinar o índice MOS-LQO da chamada em teste. Os algoritmos fazem comparações dos áudios recebidos e as cópias de referência previamente armazenadas. Durante a realização desta etapa, o SQ também captura parâmetros de configuração da rede relacionados a chamada em teste e a avaliação subjetiva de qualidade percebida pelo usuário. Com

base nas informações de diversas chamadas coletadas em determinadas áreas, o SQ determina o novo indicador de qualidade de voz. Se algum erro ocorrer durante a etapa de processamento do MOS-LQO, o indicador não poderá ser computado.

7. O SQ envia ao CGR (Centro de gerência da Rede) os relatórios dos índices de qualidade de voz determinados para as regiões monitoradas da operadora em teste, envia também, para o usuário que solicitou a avaliação uma mensagem de agradecimento do tipo “*Sua avaliação foi registrada. Obrigado por nos ajudar a melhorar a rede*”;
8. Os relatórios de qualidade de voz podem então serem automaticamente disponibilizados ao órgão regulador do setor, que no caso de Brasil é a ANATEL. Estas mesmas informações também podem ser usadas pela própria operadora no mapeamento e melhoria da qualidade de voz se sua rede móvel celular.

3.4 Tratamento de dados

Após a coleta em campo e convertidos para o formato .xls, os dados são então tabulados e agrupados de acordo com critérios de relevância. No Quadro 6 abaixo, exemplo de tabulação com dados coletados em campo.

ÁREA 1 Centro (AS=1)									
	OPERADORA A			OPERADORA B			OPERADORA C		
N Calls	MOS-LQS	MOS-LQO	SMP13(1)	MOS-LQS	MOS-LQO	SMP13(1)	MOS-LQS	MOS-LQO	SMP13(1)
1	1	3.79	2.40	1	3.74	2.37	1	3.45	2.23
2	1	3.82	2.41	1	3.74	2.37	1	3.26	2.13
3	1	3.75	2.38	1	3.65	2.33	1	3.27	2.14
4	1	3.82	2.41	1	3.78	2.39	1	3.51	2.26
5	1	3.75	2.38	1	3.8	2.40	1	3.47	2.24
6	1	3.79	2.40	1	3.7	2.35	1	3.37	2.19
7	1	3.82	2.41	1	3.68	2.34	1	3.47	2.24
8	1	3.73	2.37	1	3.63	2.32	1	3.33	2.17
9	1	3.8	2.40	1	3.92	2.46	1	3.55	2.28
10	1	3.84	2.42	1	3.78	2.39	1	3.41	2.21
	SMP13(1)= 2.40			SMP13(1)= 2.37			SMP13(1)= 2.20		

Quadro 6: Tabulação Área 1 AS=1

Fonte: Autor

No Quadro 6 acima, a primeira coluna indica o índice da chamada; na segunda coluna o MOS-LQS indica a avaliação subjetiva efetuada pelo usuário final da operadora A, para esta análise considerou-se a pior avaliação possível; na terceira coluna o valor MOS-LQO indica a avaliação objetiva efetuada de forma automática e independente da avaliação subjetiva; na coluna seguinte o indicador SMP13 efetua a média das avaliações subjetiva e objetiva para cada chamada em teste. Ao final o indicador por área (A) é determinado através da média de todas as chamadas efetuadas naquela região.

No Quadro 7 o calculo é efetuado do mesmo modo, observe que os dados referentes à avaliação objetiva são os mesmos usados na Quadro anterior, contudo o campo avaliação subjetiva teve valor atribuído igual a 3. A manipulação do campo tem como objetivo mostrar a influência da avaliação subjetiva sobre os resultados do indicador de avaliação da rede. Os dados são inseridos na formula do indicador por região, conforme indicado no item 3.2 desta pesquisa. Este procedimento é repetido para todas as áreas avaliadas.

SMP(1) ÁREA 1 Centro (AS=3)									
N Calls	OPERADORA A			OPERADORA B			OPERADORA C		
	MOS-LQS	MOS-LQO	SMP13(1)	MOS-LQS	MOS-LQO	SMP13(1)	MOS-LQS	MOS-LQO	SMP13(1)
1	3	3.79	3.40	3	3.74	3.37	3	3.45	3.23
2	3	3.82	3.41	3	3.74	3.37	3	3.26	3.13
3	3	3.75	3.38	3	3.65	3.33	3	3.27	3.14
4	3	3.82	3.41	3	3.78	3.39	3	3.51	3.26
5	3	3.75	3.38	3	3.8	3.40	3	3.47	3.24
6	3	3.79	3.40	3	3.7	3.35	3	3.37	3.19
7	3	3.82	3.41	3	3.68	3.34	3	3.47	3.24
8	3	3.73	3.37	3	3.63	3.32	3	3.33	3.17
9	3	3.8	3.40	3	3.92	3.46	3	3.55	3.28
10	3	3.84	3.42	3	3.78	3.39	3	3.41	3.21
	SMP13(1)=		3.40	SMP13(1)=		3.37	SMP13(1)=		3.20

Quadro 7: Tabulação Área 1 AS=3

Fonte: Autor

Para formulação do indicador geral que represente a avaliação de toda a rede da operadora a média de todas as áreas são computados. O Quadro 8 mostra os resultados do indicador SMP13 para as quatro áreas medidas e com avaliações subjetivas igual a 1 (Péssimo) e 3 (Regular).

	SMP13 OP.A	SMP13 OP.B	SMP OP.C
AS=1	2.39	2.41	2.13
AS=3	3.39	3.41	3.13

Quadro 8: Tabulação SMP13

Fonte: Autor

A média e o desvio padrão das avaliações são dados também podem serem usados para, em alguns casos, para aprimorar a análise da avaliação. Abaixo Quadro 9 com dados da média e desvio padrão da área 1 nas três operadoras pesquisadas.

<i>Centro (1)</i>	<i>OP A</i>	<i>OP.B</i>	<i>OP.C</i>
Media	3.791	3.742	3.409
Desvio Padrão	0.036651512	0.084696	0.099158

Quadro 9: Desvio padrão

Fonte: Autor

3.5 Demanda de Tráfego

No contexto desta pesquisa, demanda de tráfego é o volume de tempo, em horas, gasto para atender aos usuários que solicitarão as avaliações ao sistema em uma hora de funcionamento. Para este tipo de tráfego a medida usada é o *Erlang*, homenagem a A. K. Erlang (matemático Dinamarquês), primeira pessoa a estudar este problema em redes de telefonia. Embora o modelo de Erlang seja simples, a matemática que está por trás das complexas redes de telefonia de hoje ainda é baseado no seu trabalho. A intensidade do tráfego “A” oferecido pelos usuários é igual à taxa de solicitações de chamadas multiplicado tempo médio de duração das chamadas. Os usuários geram, portanto, uma intensidade de tráfego, em erlang, conforme formula abaixo (RAPPAPORT, 2002):

$$A = \lambda . h$$

Onde:

 λ = Taxa de Chegada de Chamadas h = Tempo médio de retenção da chamada

Para de obter o resultado da demanda em horas o cálculo é baseado no produto de todas as avaliações realizadas com sucesso, pelo tempo médio de duração das avaliações em uma hora de ocupação. Conforme adaptação da fórmula (ITU-T Rec. E.712):

$$D = \frac{(N \times TMA)}{3600} \text{Erlang}$$

Onde:

D= Tráfego oferecido por um ou mais usuários no sistema

N= Número total de avaliações em 1 hora

TMA= Tempo Médio de Avaliações.

O Quadro 10 a seguir mostra um exemplo de demanda de tráfego, tendo como referência o volume de tráfego qualquer adicionado em uma célula do sistema em teste. O primeiro campo do Quadro é uma variável manipulada pelo autor para simular a quantidade de solicitação. Este campo representa apenas uma referência para a quantidade de avaliações realizadas em uma única célula. O campo TMA (Tempo Médio de Avaliação) representa a duração média de cada avaliação e conseqüentemente o tempo de ocupação do canal de voz na célula de entrada da avaliação. Por fim a coluna “Demanda” indica o volume de tráfego necessário para atender a totalidade de avaliações solicitadas, por elemento de rede (célula), em um período de uma hora.

Nº Avaliações	TMA(s)	Demanda Erlang(h)
100	15	0.42
200	15	0.83
300	15	1.25
400	15	1.67
500	15	2.08
600	15	2.50
700	15	2.92
900	15	3.75
1000	15	4.17
2000	15	8.33

Quadro 10: Análise de Tráfego
Fonte: Autor

Os valores indicados na coluna 'Demanda' do Quadro 10 deverão ser considerados como tráfego adicional, e portanto, ser somada com a demanda de tráfego já existente no sistema.

Analisando a primeira referência do modelo temos que 100 avaliações foram feitas com em média 15s de ocupação e demanda de 0,42 erlangs, isso significa dizer que para atender todas as avaliações solicitadas, um TCH (*Traffic Channel*) foi usado durante um período menor que 30 minutos. Vale lembrar que no sistema GSM um único canal de rádio pode suportar até 8 TCH's.

Neste estudo outras análises não foram consideradas em função da indisponibilidade pelas operadoras, dos dados como, por exemplo, a capacidade do sistema em erlang, demanda de tráfego existente, média de ocupação de canal, tempo médio de chamadas além do número de usuários das redes testadas.

3.6 Limitações do Método

Esta metodologia de avaliação levou em consideração apenas avaliações objetivas realizadas no do canal de tráfego reverso (móvel – estação base), visto que o aparelho móvel celular do usuário possui uma menor potência de transmissão, tornando-o, em função disto, o elemento mais vulnerável da rede. Deste modo a avaliação objetiva no canal direto não foi contemplada nesta pesquisa.

Outra limitação se dá pelo fato de que apenas as avaliações objetivas foram coletadas em campo na rede real. A variante de avaliação subjetiva foi designada pelo pesquisador para evidenciar a aplicação da metodologia, deste modo as avaliações subjetivas com usuários reais não foram realizadas nesta etapa da pesquisa.

4 ARQUITETURA DE REDE DA SOLUÇÃO PROPOSTA

A implantação da solução de avaliação dos índices de qualidade de voz considerando a experiência da avaliação da qualidade de voz percebida pelo usuário, requer a adição de novos elementos na rede original. Os novos e os elementos existentes necessários para a implementação da solução proposta serão brevemente descritos a seguir. Na abordagem proposta neste trabalho, basicamente os seguintes elementos são requeridos:

- *SMSC (Short Message Service Center)*: Elemento já existente na rede de telefonia móvel que é responsável pela entrega de mensagens curtas de texto. Na estrutura proposta tem o papel de receber as mensagens de texto com as avaliações subjetivas dos usuários e encaminha-las ao servidor de qualidade.
- *SQ (Servidor de Qualidade)*: Novo elemento de rede que será responsável pelo gerenciamento de todo o processo de avaliação das chamadas de voz. O SQ realiza solicitações e ordena execução de processos ao MA (*MOS Aplicação*), SMSC, BSC (*Base Station Controller*), LBS (*Location Based Service*) e MSC (*Mobile Switching Center*). Responsável também pelo armazenamento das avaliações feitas pelos usuários, determinação dos índices MOS das chamadas e processamento dos valores para formulação do indicador de qualidade de voz além do envio de relatórios para gerenciamento da rede, provendo, portanto, subsídios a operadora para atuar, de forma proativa, na melhoria contínua da qualidade dos serviços de voz prestados pelas operadoras em toda a sua rede.
- *LBS (Location-Based Service)*: Elemento de rede já existente, responsável por prover serviços de localização geográfica dos usuários em resposta as solicitações feitas pelo SQ. O LBS fornece ao SQ as coordenadas geográficas como resultado das informações e parâmetros de rede recebidos do HLR (*Home Location Register*) e MSC e composição de técnicas internas de triangulação. O LBS possui ainda em sua base de dados arquivos de planejamento da rede no qual são, pré-configuradas, informações como: altura, azimute e grau de inclinação das antenas além das coordenadas geográficas de todas as células da rede da operadora.

- MA (*MOS Application*) – Aplicação programada no *SIM (Subscriber Identity Module)* módulo que recebe e executa funções em resposta as solicitações do SQ. Apresenta ao usuário um “menu” ao final de cada chamada, ou a qualquer tempo a critério do usuário, para que ele possa efetuar sua avaliação subjetiva. A aplicação possui ainda um campo “*Threshold*” configurável entre os valores 1 e 5, para determinar a partir de qual pontuação o processo de avaliação será efetivamente iniciado. As pontuações que ficarem acima do campo “*Threshold*” poderão ser contabilizadas apenas para efeito estatístico. A facilidade de modificação deste campo visa proteger o indicador contra distorção no processo de avaliação. O usuário precisa aceitar participar do processo de avaliação da rede para ter acesso aos *menus* da aplicação. A aplicação MOS pode já vir embarcada de fábrica ou facilmente baixada, via internet, de site disponibilizado pela operadora.
- BTS (*Base Transmission Station*): Equipamento que faz parte do sistema móvel celular responsável por prover recursos de rádio para a comunicação sem fio entre o usuário e a rede. É nesta interface onde ocorre, em função de suas características, o maior número de fatores que acarretam problemas na qualidade de voz, e nela também onde os codificadores, com menores taxas, são aplicados e, portanto, principal meio a ser avaliado pela solução proposta nesta pesquisa.
- BSC (*Base Station Controller*): Elemento da rede legada responsável pela gerência dos recursos de rádio providos pelas BTSs. Age como um concentrador destes recursos além de prover a inteligência necessária para a comunicação do móvel com a rede de comutação de circuitos ou com a rede de pacote de dados.
- MSC (*Mobile Switching Center*): Elemento de rede responsável pelo roteamento das chamadas de voz e SMS dentre outros serviços de rede. Prover a conexão física ponto-a-ponto do canal de voz entre o SQ e a aplicação MOS. Viabiliza a mobilidade do usuário na rede além de fornecer, ao SQ, informações de controle das chamadas sob avaliação.
- HLR (*Home Location Register*): Elemento da rede legada responsável pelo armazenamento da base de dados de todos os usuários nele registrados. Nele é

feito o controle de acesso, de usuários autorizados ou não, ao uso da rede móvel em sua área de registro.

– CCR (*Centro de Controle da Rede*): É a combinação de *hardware* e software no gerenciamento e controle de toda uma rede de telefonia. Recebe os relatórios com dados dos indicadores do SQ e os transforma em informação para o auxílio da equipe de planejamento nas atividades de otimização e melhoria da rede. As informações processadas pelo Centro de Gerência da Rede são também disponibilizadas para consulta e auxílio nas tomadas de decisões pela alta cúpula da organização e para a distribuição a Agência de controle do setor, no cumprimento das obrigações legais que a concessão prever.

– A estrutura de interconexão dos novos elementos, propostos nesta pesquisa, com os elementos já existentes na rede original das operadoras do SMP é mostrada na Figura 11. Nela também é mostrada todas as etapas do processo de avaliação. O detalhamento do fluxo de informações entre os elementos foi escrito em maiores detalhes na sessão 3.3 deste trabalho.

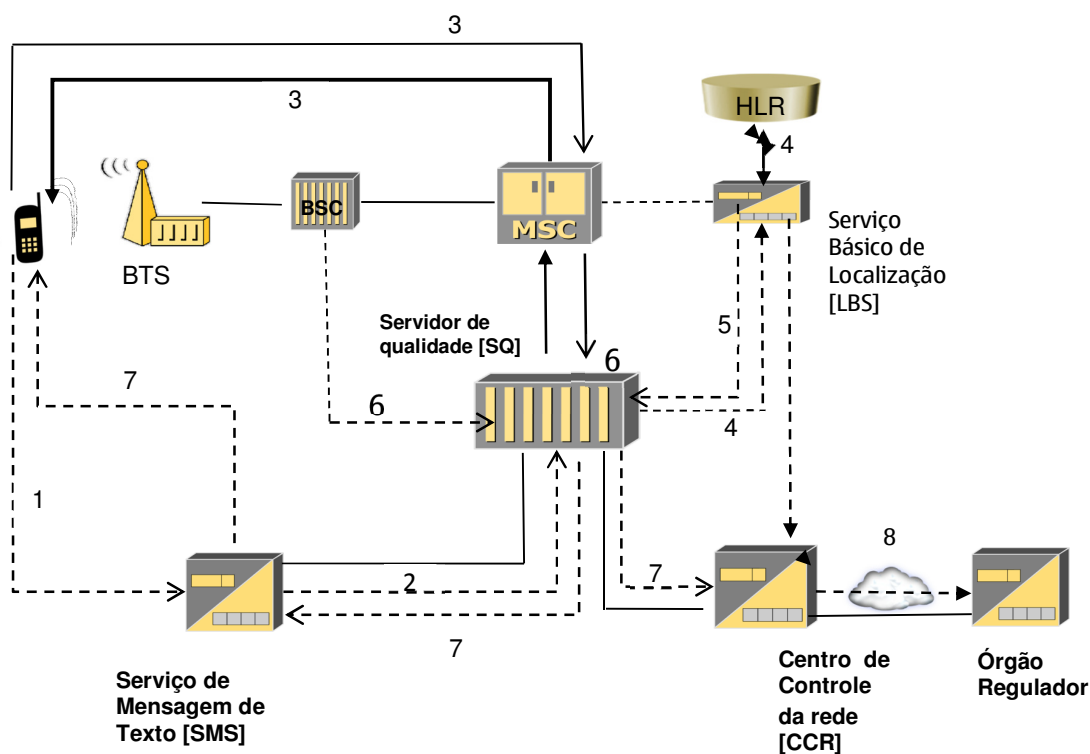


Figura 11 – Arquitetura de rede da solução proposta
Fonte: Autor

4.1 Novo Indicador de Qualidade de Voz – SMP13

A avaliação do indicador, que nesta pesquisa é denominado de SMP13, é feita em duas etapas: a primeira etapa consiste na análise por região onde uma determinada área geográfica é definida e os índices de qualidade de voz parciais são processados. Para esta análise um indicador parcial é denominado de SMP13(A); a segunda etapa consiste na análise total da área ou região em teste. Neste caso a análise é feita tendo como base os valores obtidos nas análises parciais.

O índice SMP13(A) de cada área geográfica é determinado pela seguinte equação:

$$SMP13(A) = \sum_{i=1}^N \frac{MOSm(A,i)}{N} \quad (1)$$

Onde:

- N é o número total das chamadas de teste de uma determinada área A
- $MOSm(A, i)$ é a média entre o MOS-LQO obtido e a avaliação subjetiva (AS) do usuário para uma determinada chamada de teste i em uma determinada área A;
- SMP13(A) é o valor do índice SMP13 para área A.

A definição da delimitação geográfica da área de teste, pode ser realizada agrupando-se um determinado número de células de uma região específica, pelo Código Nacional (CN) ou qualquer outra forma a critério do operador. O número total de chamadas de testes (N) pode também ser determinado por um valor percentual da totalidade de usuários que estejam registrados em uma determinada área geográfica, sendo que esta informação pode ser obtida de uma consulta feita na base de dados dos assinantes celulares da operadora que fica armazenada no HLR.

O valor do indicador de qualidade SMP13 de toda a rede é então determinado pela seguinte equação:

$$SMP13 = \sum_{A=1}^M \frac{SMP13(A)}{M} \quad (2)$$

Onde:

- M é o número de áreas avaliadas de uma operadora celular;
- SMP13 é o índice SMP13 de determinada área

5 RESULTADOS DA PESQUISA

5.1 O Cenário de Testes

Com o intuito de evidenciar a factibilidade técnica e a utilidade da solução proposta neste trabalho, um cenário de teste foi montado para realizar experimentos para avaliar a qualidade do serviço de voz em três operadoras de telefonia celular reais em diversas regiões na da cidade de Manaus-AM.

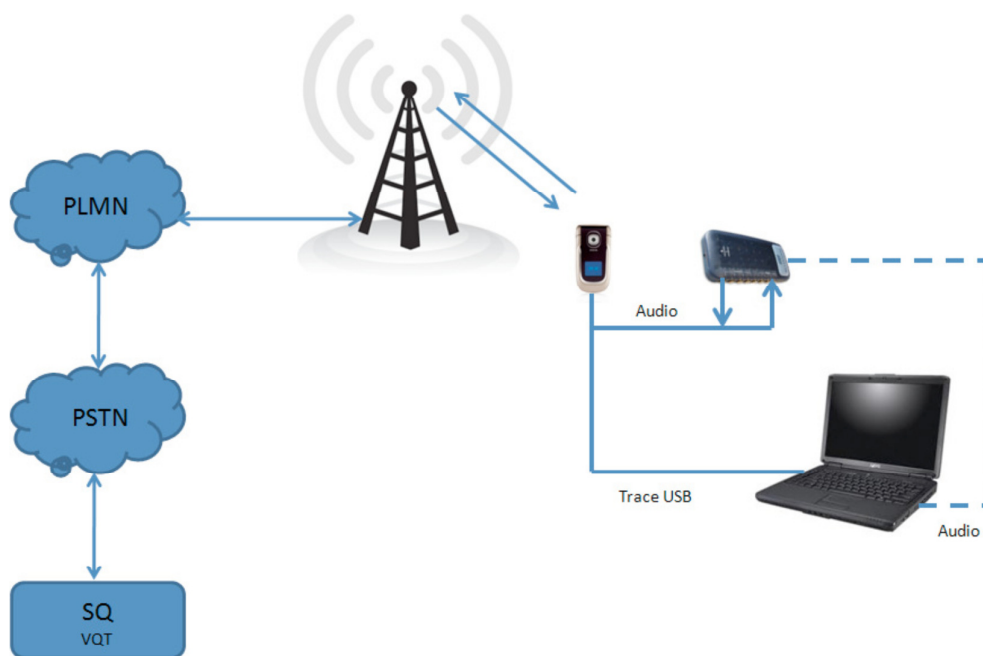


Figura 12: Cenário de teste
Fonte: Autor

A Figura 12 mostra o cenário de teste utilizado nos experimentos, ilustrando a interconexão dos equipamentos usados. Para se obter a avaliação da qualidade de voz objetiva (i.e., o MOS-LQO), as ferramentas E6474A (*Wireless Measurement Software*) e VQT (*Voice Quality Test*) da empresa Agilent, foram utilizadas, as quais seguem a recomendação ITU-T (Rec. P.862). A figura 13 mostra a página principal da ferramenta de avaliação da voz utilizada na captura dos dados, no detalhe uma pontuação MOS-LQO é atribuída para uma chamada de teste.

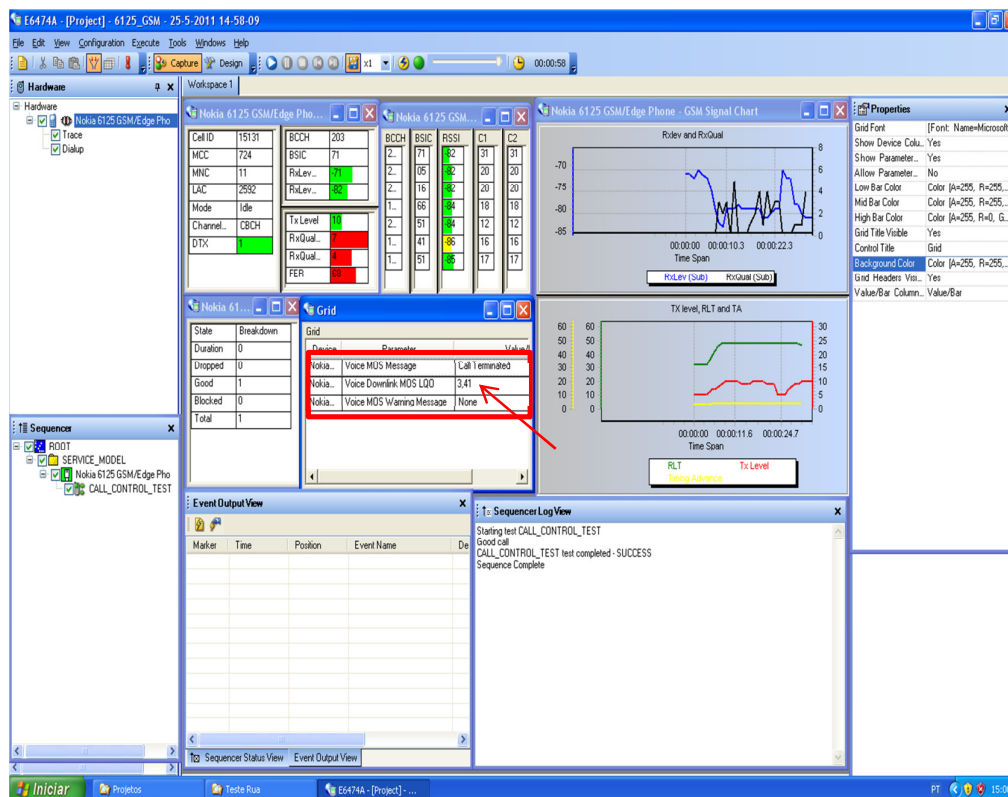


Figura 13: E6474A - Software de avaliação de qualidade da voz
Fonte: Agilent

A avaliação da voz é realizada através de um microcomputador com a ferramenta E6474A instalado e conectado a uma placa de áudio e a um celular Nokia 6125, que origina chamadas usando a rede GSM, para o um SQ (Servidor Qualidade). O SQ por sua vez, está conectado em uma rede de telefonia fixa (PSTN - *Public Switched Telephone Network*), e envia arquivos de áudio através de uma rede móvel em teste (PLMN - *Public Land Mobile Network*). Os arquivos são então executados no terminal móvel e transmitidos através da rede. Os sinais de áudio degradados são então comparados com os sinais de áudio dos arquivos de referência, que estão armazenados do SQ. Utilizando a ferramenta VQT, o SQ inicia o processo de estimação da qualidade da voz utilizando algoritmos objetivos. Em seguida o SQ atribui uma pontuação entre 0,5 e 4,5 para a qualidade do serviço de voz na chamada em teste, representando assim, o índice MOS-LQO. A figura 14 mostra a tela principal da ferramenta VQT, que utilizando algoritmos PESQ pontua as chamadas em teste.

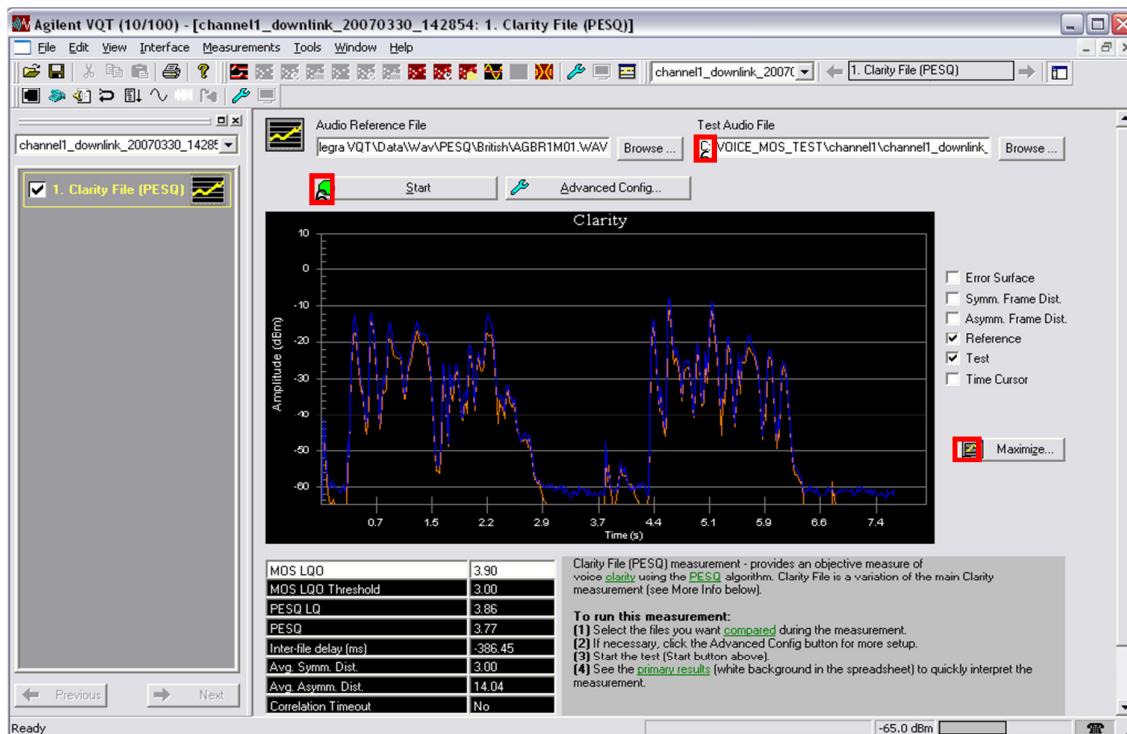


Figura 14: Ferramenta Voice Quality Test (VQT)
Fonte:Agilent

Os valores das avaliações subjetivas (entre 1 e 5) feitas pelos usuários podem ser coletados através do MA (*MOS Application*), não implementado no atual estágio deste trabalho. Estes valores, em conjunto com os valores obtidos pela avaliação objetiva (MOS-LQO), irão compor os novos indicadores SMP13 descritos no item 9.2.

Na figura 15 mostra em exemplo de avaliação com boa qualidade de voz feita pela ferramenta Agilent, que utiliza algoritmos PESQ. As fontes das formas de onda são os arquivos de referência, armazenados em um servidor local e arquivo de teste transmitido através da rede móvel da operadora. Tanto o arquivo local quanto o arquivo degradado possuem exatamente o mesmo conteúdo. Observa-se claramente na imagem que há uma grande similaridade nas formas de onda dos sinais, por isso a pontuação MOS-LQO registrou um valor de 3,89 bem acima do valor de referencia 3 (Três).

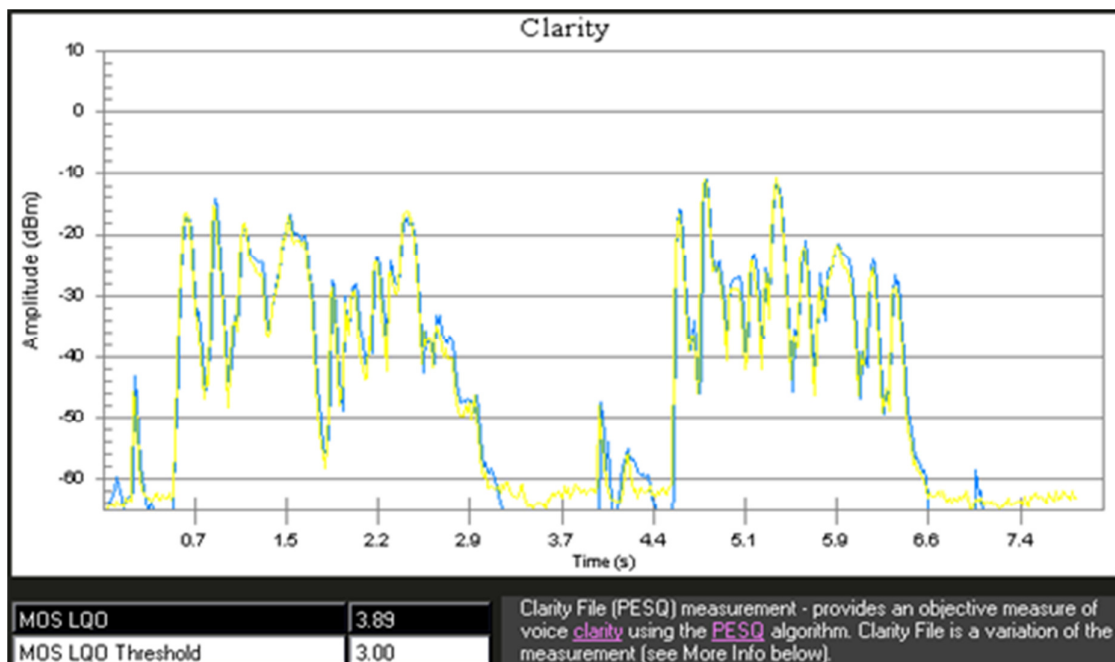


Figura 15: Exemplo de boa avaliação da qualidade de voz

Fonte: Agilent

Na figura 16 mostra um exemplo com avaliação MOS igual há 1,06 muito inferior ao valor mínimo de referência. É possível observar divergências entre os sinais.

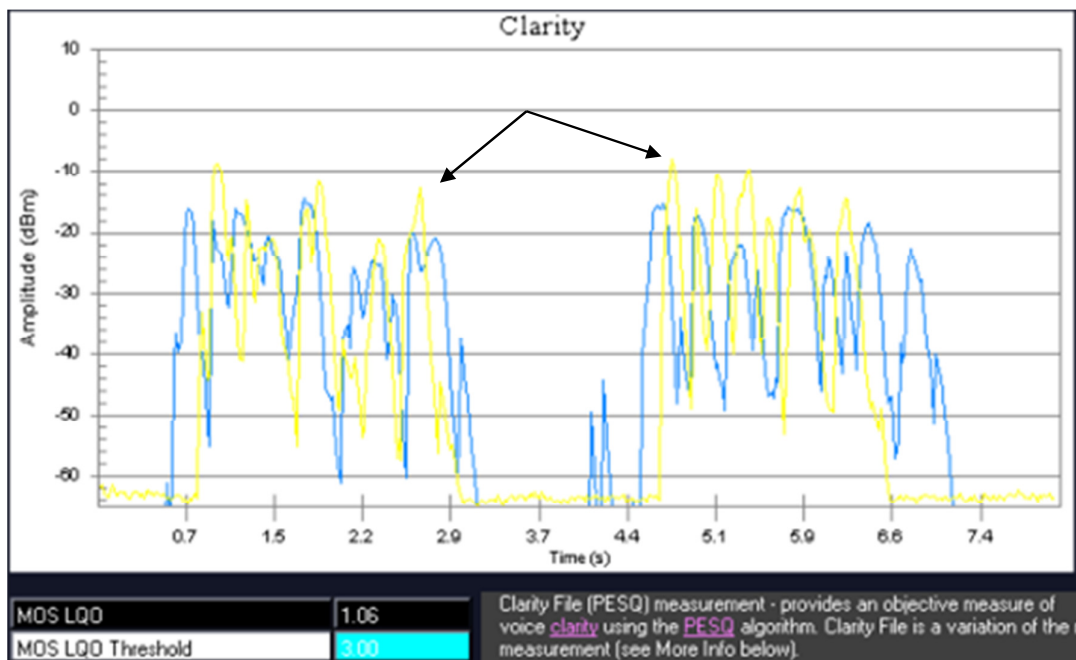


Figura 16: Exemplo de uma avaliação da qualidade da voz ruim

Fonte: Agilent

O papel dos indicadores é mapear a qualidade do serviço de voz prestado das redes em teste. É importante salientar que os indicadores SMP(A)'s representam os índices de qualidade de voz de áreas específicas testadas, enquanto o SPM13 tem um escopo mais global, podendo representar o índice de qualidade total de uma operadora. A definição de região pode ser feita, por exemplo, considerando o CN (Código nacional), ou qualquer outro critério definido pela própria operadora ou, se for o caso, pelo órgão regulador. Na Figura 17 é apresentado um exemplo de avaliação por região (contendo as áreas 1, 2 e 3), podendo proporcionar de maneira rápida e eficiente, ferramentas para otimização dos recursos de rede.

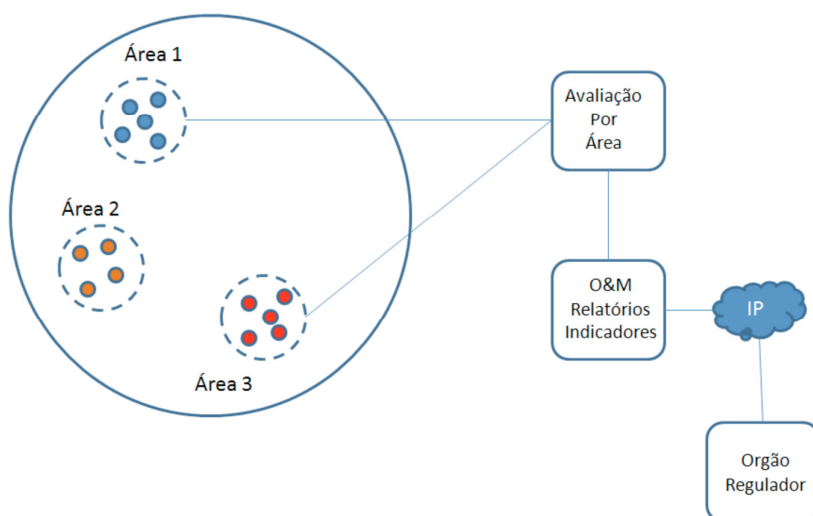


Figura 17: Avaliação por área
Fonte: Autor

Os experimentos realizados neste trabalho consideraram as mesmas áreas de avaliação para todas as operadoras. As chamadas foram realizadas em quatro pontos na cidade de Manaus são eles:

- Centro – Latitude: 3°08'01,37"S; Longitude: 60°01'26,59"O;
- Amazonas Shopping - Lat: 3°05'37,20"S Log: 60°01'25,66"O;
- Aeroporto Eduardo gomes - Lat: 3°01'52,98"S; Log: 60°02'45,82"O
- BR-174 – Lat: 2°58'34,62"S; Log: 60°00'57,55"O

As regiões foram definidas tomando como base as diferentes características de cada ponto. O centro da cidade, área com uma quantidade significativa de edificações e intenso fluxo de pessoas e carros; o Amazonas shopping área de grande interesse comercial; aeroporto Eduardo Gomes região estratégica e BR 174 região com baixo fluxo de tráfego telefônico. Os pontos são mostrados na figura 18.

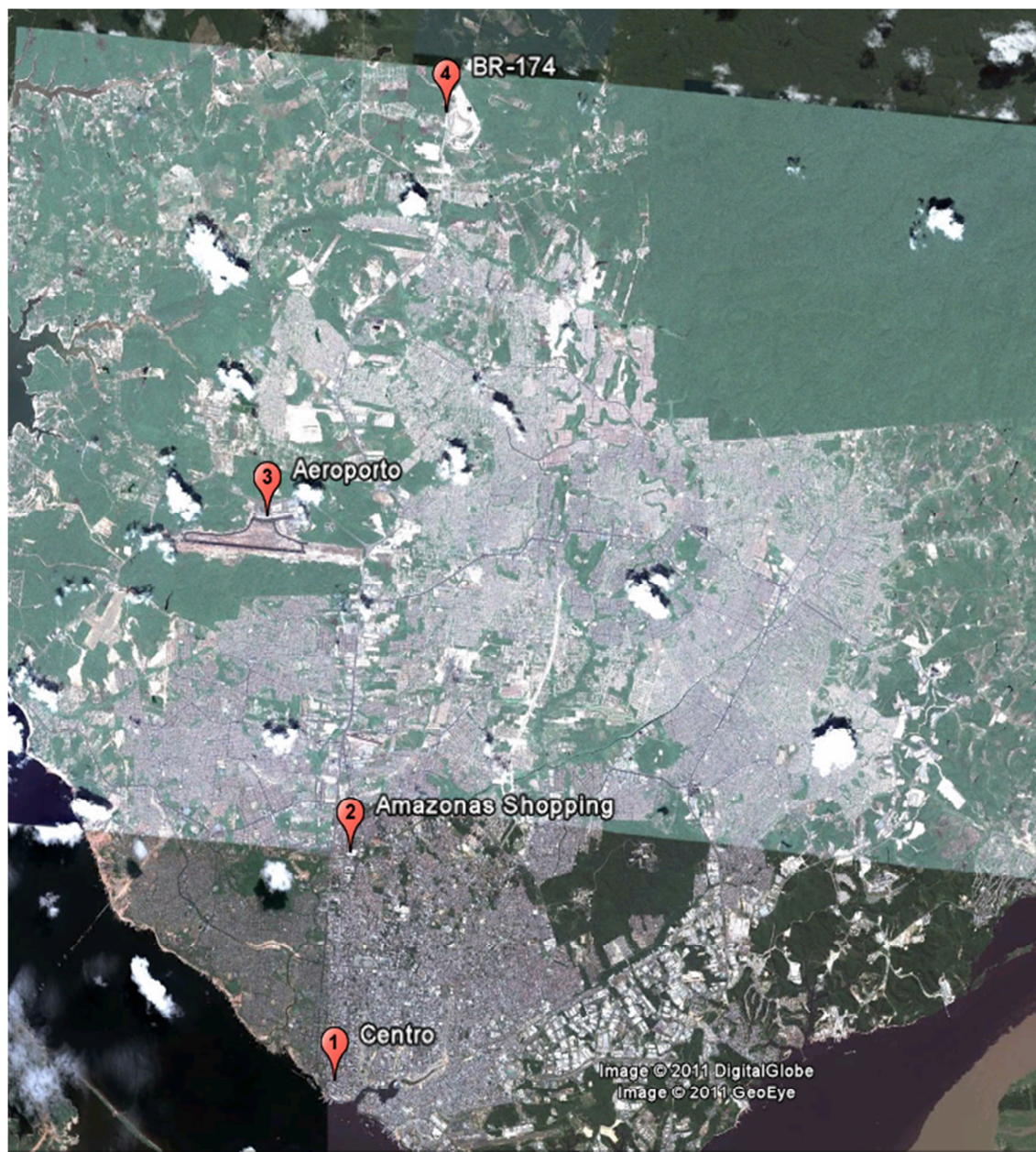


Figura 18: Pontos de testes
Fonte: Google Mapas

5.2 Avaliação dos novos Indicadores de qualidade de voz

Os resultados mostram a avaliação de três operadoras com dados coletados em quatro pontos da cidade, como definido na figura 18. Para composição do indicador SMP13 para uma determinada área de cada operadora, aqui denominadas de A, B e C, foram consideradas duas experiências de qualidade de voz percebidas pelo usuário. A primeira considerou que todas as avaliações subjetivas feitas pelos usuários para cada chamada obtiveram valor igual a 1 (Ruim) enquanto a segunda considerou uma avaliação subjetiva igual a 3 (Razoável). Estes valores são correspondentes à avaliação subjetiva MOS da Recomendação ITU P.800, conforme item 2.2. O objetivo principal é demonstrar a influência da avaliação de qualidade percebida pelo usuário no resultado final do indicador.

Na área 1 ou centro da cidade os resultados mostraram um melhor desempenho da Operadora A, resultado semelhante teve a Operadora B e em último a Operadora C.

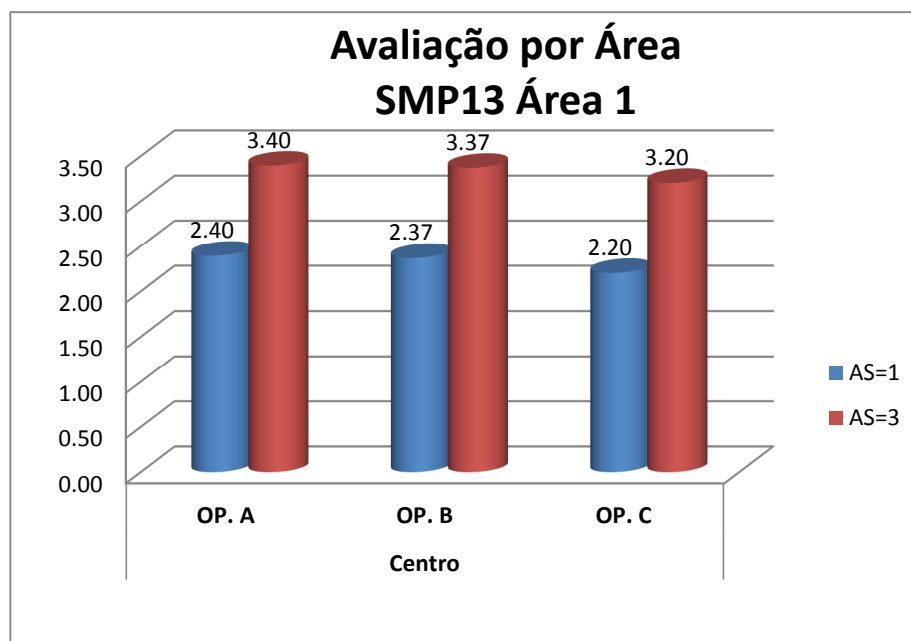


Figura 19: Avaliação Área 1
Fonte: Autor

Os resultados da área 2 (amazonas shopping) foram semelhantes para as operadoras A e B, porém a Operadora C teve um desempenho inferior ao limiar

MOS=3 de avaliação, mesmo com avaliações positivas feitas pelos usuários demonstrando a necessidade de melhoria na rede para esta região específica.



Figura 20: Avaliação Área 2
Fonte: Autor

Novamente as operadoras A e B tiveram desempenho semelhante nesta área, destaque para a operadora C que novamente com desempenho inferior apesar do valor MOS de avaliação ter demonstrado pequena melhora.

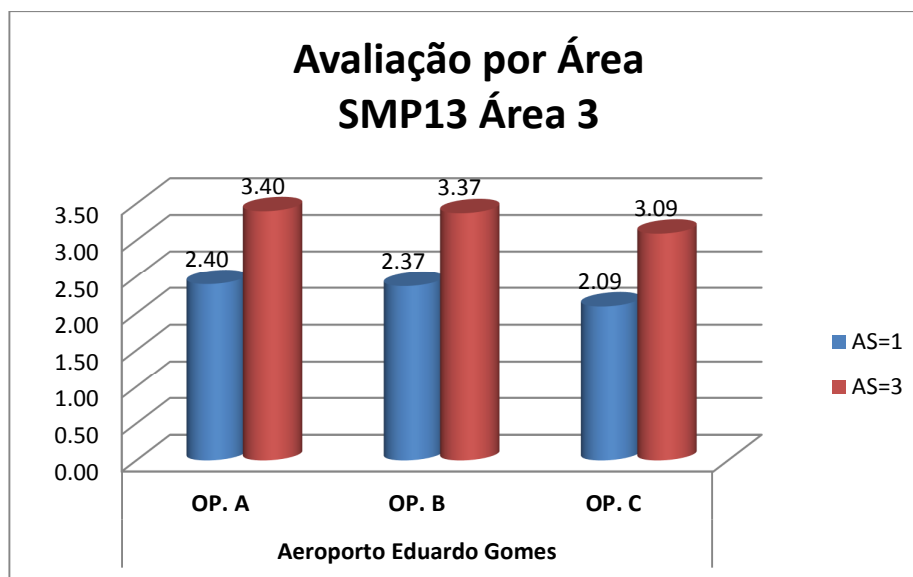


Figura 21: Avaliação Área 3
Fonte: Autor

Na área 4 (BR 174) todas as operadoras avaliadas tiveram desempenho semelhantes com valores MOS ficando entre mínimo acima de 2,2 e máximo acima de 3,2.

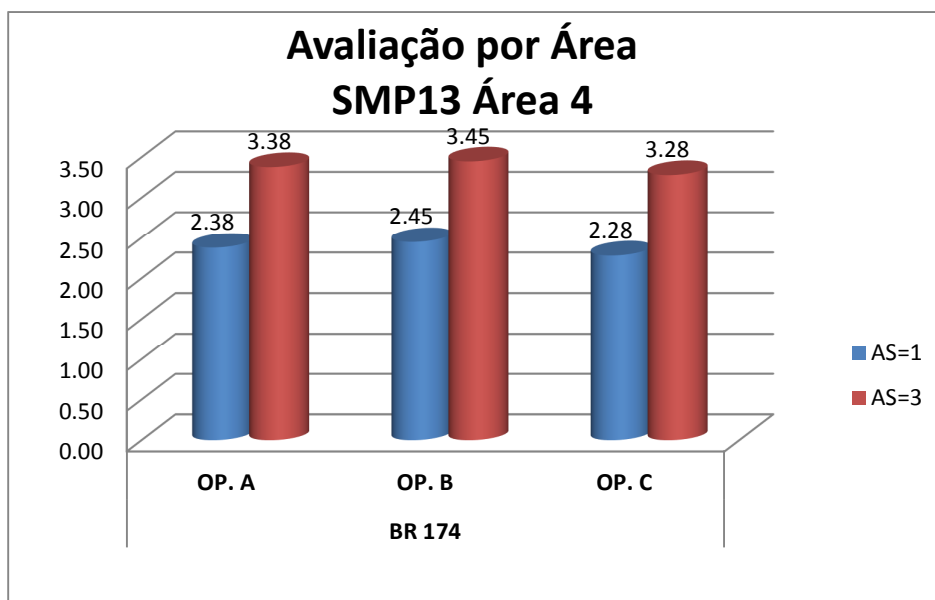


Figura 22: Avaliação Área 4

Fonte: Autor

Analisando o desvio padrão das quatro áreas observou-se que todas as operadoras possuem problemas de qualidade na área 2 (Amazonas Shopping), sendo que a operadora C obteve o pior desempenho nesta área. Uma das explicações para isso pode estar relacionado ao alto índice de bloqueio observado nesta operadora durante a fase de coleta de dados. O bloqueio de chamadas não é o foco desta pesquisa, visto que, este é um dos indicadores já avaliados pelo órgão regulador, contudo a falta de recursos de tráfego na célula pode, quando habilitado, redirecionar as chamadas para células vizinhas. Esta facilidade é comumente utilizada pelas operadoras para evitar o bloqueio de chamadas na rede. Este redirecionamento de chamadas pode, no entanto, comprometer a qualidade das chamadas de voz, visto que a cobertura das células vizinhas podem não ter a mesma qualidade de sinal de RF, ocasionando desta forma, degradação na qualidade da chamada ocasionando uma baixa pontuação MOS.

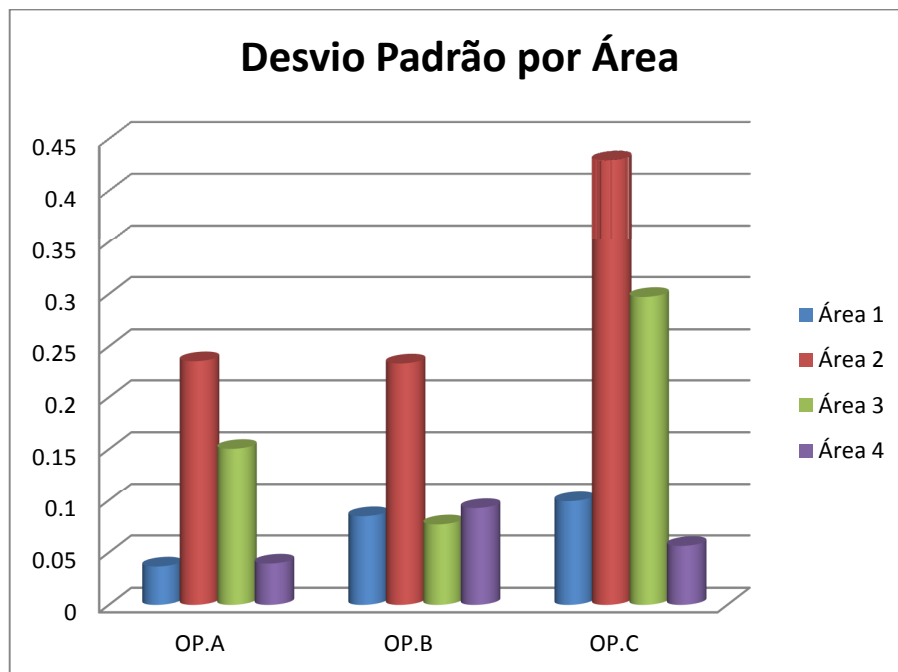


Figura 23: Desvio Padrão
Fonte: Autor

Após a consolidação dos dados por região, pode-se, através do indicador SMP13, avaliar de forma ampla o desempenho de toda a rede da operadora. A operadora A teve desempenho melhor nas áreas 1 e 3 enquanto a operadora B nas áreas 2 e 4. No geral a operadora B teve o melhor desempenho e a operadora C o pior desempenho. Os dados finais dão elementos significativos, para ajudar as operadoras na otimização e melhoria dos serviços de voz e também aos usuários, na decisão de qual operadora contratar estes serviços. A publicação destes dados, como hoje é divulgada os outros indicadores de qualidade, poderão estimular todas as operadoras na melhoria da qualidade dos serviços de voz ofertados, ajudando no desenvolvimento de todo o setor de telefonia móvel.

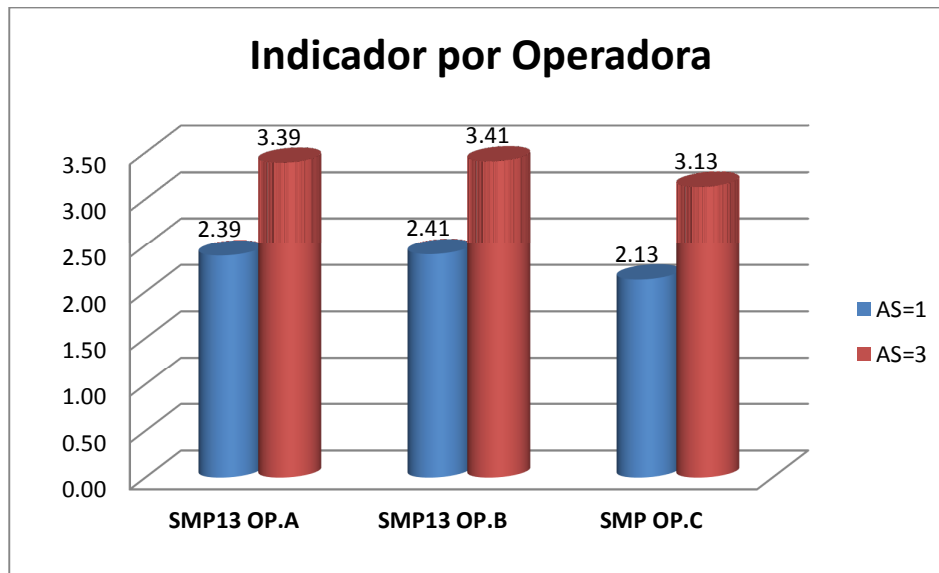


Figura 24: Indicador de Avaliação da Voz
Fonte: Autor

6 CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa mostram que a utilização do método de avaliação proposto nesta pesquisa poderia beneficiar os usuários, uma vez que, valoriza sua percepção de qualidade dos serviços de voz que por ele é pago e a ele é disponibilizado; ao órgão regulador do setor, na utilização da metodologia como métrica na avaliação do serviço de voz prestado por todas as operadoras do SMP; às próprias operadoras na utilização dos dados, fornecidas pelos usuários e coletados pela rede, na otimização dos recursos disponíveis e na substituição dos *Drive Test*, diminuindo o tempo de reação na recuperação de falhas que afetam a qualidade da voz nos sistemas celulares.

A metodologia proposta consta da elaboração de um novo índice, aqui denominado de *SMP13*, onde a principal contribuição origina-se do fato que a análise é baseada sob a percepção dos usuários. Os ganhos associados com essa nova abordagem podem compreender uma maior flexibilidade, agilidade, confiabilidade e menor custo com o processo de avaliação dos serviços de voz, contribuindo, deste modo, para a implementação de melhorias constantes nos serviços de voz prestados pelas operadoras do SMP em todo o Brasil.

6.1 Estudos Futuros

Esta pesquisa foi realizada utilizando somente a tecnologia de rede acesso móvel GSM, visto que ainda hoje é a tecnologia, segundo dados da Anatel 2011, com o maior número de usuários ativos. A avaliação das chamadas de voz foi medida no enlace reverso, ou seja do telefone móvel do usuário sentido Estação Transmissora de Rádio, deste modo, alguns outros elementos não contemplados neste trabalho devem ser motivo de futuras pesquisas, como exemplo os tópicos citados abaixo:

- Avaliar o comportamento simultâneo dos enlaces de comunicação, ou seja, efetuar a média considerando o canal direto e reverso (móvel – Estação Base) para obter uma única medida de avaliação;

- Avaliar o desempenho da metodologia de pontuação MOS utilizando, por exemplo, arquivos com áudio de voz masculino e feminino em língua portuguesa;
- Extensão da solução para outras tecnologias de acesso (3G e 4G) etc.
- Desenvolvimento da metodologia possibilitando que a avaliação MOS seja também feita em chamadas móvel-móvel, permitindo desta maneira, conhecer em que parte da rede do usuário A ou B possui problema de qualidade de voz.

7 REFERÊNCIAS

ANDERSON, John. **Methods for Measuring Perceptual Speech Quality**, Disponível em: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-2352EN.pdf>, Out. 2001. Acesso em Mar, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. Disponível em: <http://www.abinee.org.br>. Acesso em 20/06/2011.

ANDRADE, Maria Margarida de. **Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação: noções práticas**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Portal Anatel. **Consulta Pública Nº27 – SMP**, 12 de Julho de 2010. Disponível em: <http://sistemas.anatel.gov.br/SACP>. Acesso em 15 ago. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, Portal Anatel. **Resolução Nº 335 “Regulamento de Indicadores de Qualidade do Serviço Móvel Pessoal – SMP”**, 17 de Abril de 2003. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/>. Acesso em: 08 set. 2010.

BARILE, M. et al. **Parametric Models for Speech Quality Estimation in GSM Networks**, IEEE International Conference on Software in Telecommunications and Computer Networks, SoftCOM 2006. v. 1, Set. 2006.

CHRISTINE, Pepin et al. **Source and Channel Rate adaptation for VoIP**. Patente Nº: US 7,295,549 B2, 13 Nov. 2007.

DAHLMAN, Erick et al. **3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband**. USA: Academic Press, 2007.

DAVID, Fabio. **Ferramentas de Monitoração Ativa e Passiva para Avaliação da Qualidade de Redes VoIP**, Dissertação de Mestrado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

DOLEZALOVA, B.; HOLUB, J.; STREET, M. **Mobile Network Voice Transmission Quality Estimation based on Radio Path Parameters**, IEEE Wireless Telecommunications Symposium. v. 1, Dez. 2005.

EI-RAMLY, A. et al. **A Rate-Determination Algorithm for Variable-Rate Speech Coder**: Electrical, Electronic and computer Engineering – ICEEC, IEEE, Janeiro de 2005.

EUROPEAN TELECOMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE, **Enhanced Full Rate (EFR) speech processing functions**, EN 301 243 V4.0.1, França, 1997.

FARES, Ahmad. et al. **GSM RF Equipment Testing and Performance Analysis**, *IEEE International Symposium on Communications and Information Technology, ISCIT*. v. 2, Dec. 2004.

GERALD, W. Pfliging; GEORGE, Wilkin. **VoIP Voice Quality remote for switch-to switch connections**. Patente Nº: US 2007/0291648 A1, 20 de Dec. 2007.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GONÇALVES, Rodrigo, M. S.; MIRANDA, Bruno M. G.; CERCAS, Francisco A. B. **Mobile Network Monitoring Information System**, *IEEE Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications, AusWireless*, v. 1, Jun. 2007.

GSM Association, Disponível em: <http://www.gsm.org/technology/gsm/index.htm>. Acesso em Março de 2011.

HITT, M. A.; IRELAND, R.; HOSKISSON, R. **Strategic Management: competitiveness and globalization**. 8. ed. USA: South-western, 2009.

INTERNATIONAL TELECOMUNICATION UNION. Telecommunication Standardization Sector – ITU-T. Rec. G.107, **The E-model**, a computational model for use in transmission planning, Mar. 2005. Disponível em: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107/en>. Acesso Jun. 2010.

_____. ITU-T Rec. P.861. **Objective Quality Measurement of Telephone-Band (300–3400 Hz) Speech Codecs**. Disponível em: <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.861/en>. Acesso em Jun 2010.

_____. ITU-T Rec. P.862, **Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs**, 2005. Disponível em: <http://www.itu.int/rec/T-RECP.862/en>. Acesso em Jan. 2010.

_____. ITU-T Rec. P.830. **Subjective performance assessment of telephoneband and wideband digital codecs**. Disponível em: <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.830/en>. Acesso em Jan. 2010.

_____. ITU-T Rec. P.563. **Single-ended method for objective speech quality assessment in narrow-band telephony applications**. Disponível em: <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.563/en>. Acesso em Jun. 2010.

KERLINGER, Fred Nichols. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais**. 5. ed. São Paulo, Atlas, 1999.

MAGRO, Júlio, Cesar. **Estudo da qualidade de voz em redes IP**. Dissertação de Mestrado pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2005.

MAHDI, A. E. **Voice Quality Measurement in Modern Telecommunication Networks**, Department of Electronic and Computer Engineering University of Limerick Limerick, Jun. 2007

PAUL, N. at al. **Efficient Evaluation of Voice Quality in GERAN - GSM EDGE Radio Access Network**, IEEE Vehicular Technology Conference, VTS 54th .v. 3, Dec. 2004.

PORTER, Michael E. **Estratégia Competitiva**. Rio de Janeiro: Campus 1991.

RAPPAPORT, Theodore S. **Wireless Communications: Principles and Practice**, 2. Ed. Prentice-Hall, 2002.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

SEYTNAZAROV, Sh.O., **RF optimization issues in GSM networks**, *IEEE Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*, v. 1, Mai. 2010.

THE INTERNATIONAL TELEGRAPH AND TELEPHONE CONSULTATIVE COMMITTEE. Rec. E.712. **Telephone Network and ISDN Quality of service, network management and traffic Engineering**. Place des Nations, Geneva, 1992. Disponível em: <http://www.itu.int/rec/T-REC-E.712/en>. Acesso em Fev. 2011.

ZEGARRA, Rodríguez D. ; ARJONA, Ramírez M. **VoIP Quality Improvement with a Rate-determination Algorithm**. International Workshop on Telecommunications, São Paulo, Fev. 2009.

3rd GENERATION PARTNERSHIP PROJECT: **TS 22.071: Group Services and System Aspects: Location Services (LCS):Service description, Stage 1**, version 7.1.0, Jan 2005.

TELECOMHALL, Disponível em: <http://www.telecomhall.com/br/o-que-e-drive-test-testing-de-rf.aspx>, Acesso em Junho de 2011.