**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E
INFORMÁTICA INDUSTRIAL**

RODRIGO LUIZ FRIGOTTO

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE ÁUDIO NO SERVIÇO MÓVEL
AERONÁUTICO**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2018

RODRIGO LUIZ FRIGOTTO

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE ÁUDIO NO SERVIÇO MÓVEL
AERONÁUTICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de “Mestre em Ciências” – Área de Concentração: Telecomunicações e Redes.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre de Almeida
Prado Pohl

CURITIBA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

F912a Frigotto, Rodrigo Luiz
2018 Análise da qualidade de áudio no serviço móvel aeronáutico
/ Rodrigo Luiz Frigotto.-- 2018.
160 f.: il.; 30 cm.

Disponível também via World Wide Web.
Texto em português com resumo em inglês.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal
do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e
Informática Industrial. Área de Concentração: Telecomunicações
e Redes, Curitiba, 2018.
Bibliografia: f. 103-106.

1. Controle do tráfego aéreo. 2. Processamento de sinais.
3. Interferência (Som). 4. Sistemas de processamento de voz -
Controle de qualidade. 5. Codificador de voz. 6. Sistemas de
comunicação sem fio. 7. Subjetividade. 8. Métodos de simulação.
9. Engenharia elétrica - Dissertações. I. Pohl, Alexandre de
Almeida Prado, org. II. Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e
Informática Industrial. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 621.3

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 795

A Dissertação de Mestrado intitulada “**Análise da Qualidade de Áudio no Serviço Móvel Aeronáutico**” defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Rodrigo Luiz Frigotto**, no dia 13 de abril de 2018, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Ciências, área de concentração Telecomunicações e Redes, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Alexandre de Almeida Prado Pohl - Presidente – (UTFPR)

Prof(a). Dr(a). Mylène Christine Queiros de Farias - (UnB)

Prof(a). Dr(a). Alberto Yoshihiro Nakano - (UTFPR)

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 13 de abril de 2018.

Aos meus queridos: *Mamma* Ivani, papaizinho Elomar, mãe de coração Tânia, e minha irmãzinha querida Naná, pelo apoio, sempre! Este trabalho só foi possível graças à dedicação e empenho de muitas pessoas, às quais eu também dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sobretudo à Deus e à minha família.

Ao Prof.Dr. Alexandre Pohl, pelas necessárias e sempre bem-vindas orientações.

Ao Comando da Aeronáutica e DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), pela confiança depositada.

À Profa. Dra Mylene Christine Queiroz de Farias e Prof. Dr. Alberto Nakano pela avaliação minuciosa e preciosas recomendações ofertadas.

Ao Estúdio BOOM Sound Design pela disponibilização de infraestrutura impecável e excelentes profissionais, os Engenheiros de Som Guilherme Izidro e Lucas Pereira.

À Tania T. Nakanishi, Naomi Nakanishi, Maria Tomaschitz e Marcus Julius Zanon pelo acervo de frases utilizadas na pesquisa.

À Aerotronic Eletrônica e Instrumentos de Aeronaves, por ceder, sem custo, componentes eletrônicos essenciais e de difícil aquisição para a execução dos testes em vôo.

À equipe do GEIV (Grupamento de Ensaio em Vôo), pela realização dos ensaios de vôo de alto custo em altitudes elevadas, que seriam impossíveis com os equipamentos e recursos do CINDACTA II, cedendo recursos materiais e humanos para a pesquisa. Em especial, aos Ten Cel Mauro Carrinho de Moura (Comandante do GEIV), Cap Sérgio Marcos da Rocha Correa, Cap Jair Vinicius Romano, Sgt Vitor Lima Silva, Sgt Fábio Augusto Alves, Sgt Felipe Jacobs Machado, Sgt Mariana Rodrigues da Silva, Sgt Thiago Abdala Razuk e tripulação do vôo GEIV.

Ao CEP da UTFPR, pela avaliação célere e prudente das atividades que envolveram seres humanos, em especial à Professora Frieda Saicla Barros.

Ao Helard Becerra Martinez e Professora por ceder para teste o algoritmo de avaliação objetiva sem referência que desenvolveram.

Aos queridos colegas de CINDACTA II:

À equipe da CAV e CCD do CINDACTA II, pelas coordenações nos testes com aeronaves, em especial ao Cel Jose Carlos Gomes, Maj Mauro Massahiro Okabayashi e Sgt Ismael da Silva Soares.

Ao então Chefe da Divisão Operacional e atual Comandante do CINDACTA II, Cel Marcos Kentaro Adachi, pelos recursos disponibilizados à pesquisa. Ao Ex-Comandante do CINDACTA II, Cel Alvaro Wolnei Guimarães, por permitir a execução do estudo.

Ao Maj. Tomaz Lopes de Araujo por conduzir, de maneira excepcional, nossos testes em vôo com a aeronave Caravan.

À equipe do ACC-CW, pelas coordenações, disponibilização de recursos humanos e trabalho árduo durante as locuções, testes e análises subjetivas necessárias à esta pesquisa, em especial para os Maj. Alessandro Soares de Araujo, Cap Roberto Vieira Filho, Cap Fernando Nunes, Cap Wanderley Antonio Faustino, Ten Elias da Silva, Sgt Claudio Goncalves da Fonseca, Sgt Raquel Lopes Grando, Sgt Sandeywison Leal Amosim Silva, Sgt Karolinne Rocha Pereira, Sgt Caroline Viane da Silva, Sgt Luiza Liz Alves, Sgt Rafael Scarante Cordeiro, Sgt Antonio Jose de Melo Orphao, Sgt Wesley Scarpini Miranda, Sgt Franciele Z. R. Guimarães, Sgt Camila da Silva Cardoso, Sgt Isabela da S. Oliveira, Sgt Shirley de F. dos Anjos, Sgt Vinicius de O. Foletto, Sgt Érico de Rosa Fagundes, Sgt. Carolina Calçada Pinheiro, Sgt. Camilla de Abreu Cantelmo, Sgt. Breno W. Paz da Silva, Sgt. Jessica L. Rodrigues da Silva, Sgt Teofilo J. dos Santos Maia, Sgt Alexandre M. Lima dos Santos, Sgt Yuri Wies Trauer, Sgt Samila M. Veras Campos, Sgt Danilo de B. Mendes, Sgt Dayane R. da Silva Kuss, Sgt Camila dos Santos de Almeida, Sgt Raíssa R. Modesto, Sgt Raquele Cruz Marinho, Sgt Ana Caroline P. Antião, Sgt Wellington F. de Figueiredo, Sgt Aline Corrêa Maciel, Sgt Suellen P. Pires de Souza, Sgt Tathiane M. Oliveira Silva, Sgt Igor S. R. de Moraes, Sgt Thaís Sá Ribas da Silva, Sgt Davi F. da Silva Machado, Sgt Carlos da Silva Cardoso Neto, Sgt Amanda M. Hoffmann Pinto, Sgt Angie Alvarez Porto, e todos os controladores de vôo e equipe técnica que trabalharam durante os testes.

Aos queridos amigos da KM/TNEL do CINDACTA II pelo apoio na montagem de interfaces e adaptadores necessários aos testes de aeronaves, em especial aos Sgt Luiz Carlos (Zé) Oliveira Silva, Sgt Inacio Ferrarini, Sgt Ronaldo Augusto Costa Lopes, Cb Joelson Gans Pereira, Sgt Thalles Rangel Pirani, Cb Luciano Alves Dalasuana, SO Marcelo Rocha de Oliveira, Sgt Onairam dos Santos Costa.

À equipe do CMV, nas pessoas do Cap Eduardo Buhler e Sgt Monique Silva Do Nascimento, por reunir as meteorológicas dos testes em vôo.

À sempre solícita e operacional equipe da Sala Técnica e Subdivisão de Telecomunicações, por disponibilizar recursos materiais e humanos para a realização e acompanhamento de todos os testes. Em especial aos: Cap Thiago Martins dos Santos, SO Evandro Lyra Vieira, SO Sergio Costa Matute, Maj Denniel Sancho Zorzal Rossi e Bruno Serrano.

Aos Exmos. chefes, Ten Cel Ivantuir Leal Coelho, pelas essenciais coordenações junto ao Comando do CINDACTA II e Maj Danilo dos Santos Telechi pelo suporte e incentivo para a pesquisa.

Aos meus caríssimos colegas de trabalho, que me apoiaram nas minhas ausências e acompanharam de perto todo o percurso: Cap Ramon Bulhões e Silva, Ten Anderson Alex dos Santos Ribeiro, Ten Delcio Waculicz, Ten Rosiane Bonatti Ribeiro, Ten Mariana Moreira, Sgt Josivaldo de Souza Dias, Artur Pereira Melges, Ten Carla Cristina Tanner Gomes, Julio Cesar Frez e Sgt Paulo Cesar Castro.

”Science is about knowing, engineering is about doing.”

Henry Petroski

RESUMO

FRIGOTTO, Rodrigo. ANÁLISE DA QUALIDADE DE ÁUDIO NO SERVIÇO MÓVEL AERONÁUTICO. 160 f. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Até chegar ao controlador de tráfego aéreo os sinais transmitidos que carregam informações de áudio podem sofrer diferentes degradações, seja por interferências, atenuações por problemas de cobertura, problemas de canalização, uso de algoritmos de compressão ou escolha de melhor sinal, entre outros. Neste trabalho é realizado um estudo de qualidade de voz nas telecomunicações aeronáuticas, utilizando o método de análise subjetiva aplicado a sinais provenientes de diferentes meios utilizados comumente no Sistema de Controle de Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB). Para tal, foi estabelecida uma base de sinais de áudio de voz de referência gravadas em estúdio, e estes sinais submetidos a diferentes degradações presentes nos meios de comunicações utilizados nas atividades de controle de espaço aéreo. Em seguida os sinais foram analisados conforme normatizado pela norma ITU-T P.800, por seres humanos de maneira a encontrar o índice de qualidade de voz, denominado *Mean Opinion Score* ou MOS. Com estes dados foram testados métodos de análise objetivos do PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*) e SESQ (*Single-Ended Speech Quality Assessment*) e verificados os seus desempenhos na determinação do MOS previsto em frente aos problemas de qualidade de áudio peculiares dos meios de comunicação do SISCEAB. Os resultados mostram ampla variação do MOS dependendo do meio utilizado, com degradação mais acentuada nas comunicações que empregaram rádio-frequência. Também foi observado que o PESQ apresentou bom desempenho na previsão do MOS de sistemas de telecomunicações empregados no SISCEAB.

Palavras-chave: Serviço Móvel Aeronáutico, Qualidade de Voz, Análise subjetiva de áudio, Controle de Tráfego Aéreo

ABSTRACT

FRIGOTTO, Rodrigo. ANALYSIS OF SPEECH QUALITY IN THE AERONAUTICAL MOBILE SERVICE. 160 f. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

From the airplane until reaching air-traffic controllers, transmitted signals that carry audio information may suffer different kinds of degradation. Radio interference, range or canalization issues and the use of compression are among the most common sources of audio degradation in aeronautical communications. In this work it is studied the speech quality in aeronautical communications, using standardized subjective tests applied over signal degradations of normally used aeronautical telecommunication systems of the SISCEAB (Brazilian System of Airspace Control). For this purpose, an audio database was prepared, with reference speech signals being recorded in a professional audio studio. These signals were latter submitted to different degradations of the common means of communication used in airspace control and, next, were evaluated, as standardized in the ITU-T P.800 standard, by human subjects in order to express the MOS, an audio quality index. Latter, these indexes were used to test the performance of two objective analysis algorithms, the PESQ (ITU-T P.862) and the SESQ (ITU-T P.563), in order to verify if they could predict the MOS of signals degraded by the means used in air-traffic control communications. The results show wide variations in the MOS depending on the media used, with marked variation in communications that used radiofrequency. It was also observed that the PESQ showed good performance predicting the MOS of telecommunication systems used in the SISCEAB.

Keywords: Aeronautical Mobile Service, Speech Quality Assessment, Subjective Audio Analysis

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Estrutura de órgãos agentes do SMA	19
FIGURA 2	– Área de controle de tráfego aéreo no Brasil e regiões de responsabilidade dos ACC	20
FIGURA 3	– Diagrama de blocos simplificado de solução tecnológica do SMA	21
FIGURA 4	– Diagrama de irradiação teórico de estações de telecomunicações	22
FIGURA 5	– Diagrama de objetivos e etapas	26
FIGURA 6	– Disposição de fonte e captação do ensaio de reverberação - S1: P1,P2 e P3	30
FIGURA 7	– Disposição de fonte e captação do ensaio de reverberação - S1: P4,P5 e P6	30
FIGURA 8	– Disposição de fonte e captação do ensaio de reverberação - S2: P1,P2 e P3	31
FIGURA 9	– Disposição de fonte e captação do ensaio de reverberação - S2: P4,P5 e P6	31
FIGURA 10	– Exemplo de Sinal de áudio do ensaio de reverberação - Estúdio principal	35
FIGURA 11	– Exemplo de Sinal de áudio do ensaio de reverberação - Sala de Conveniência	35
FIGURA 12	– Decaimento e polinômio ajustado - Salas	36
FIGURA 13	– Espectro de potência de ruído ambiente - Salas	36
FIGURA 14	– Modelo de nome de arquivo de gravação	41
FIGURA 15	– Exemplo de sinal de voz com parâmetros de tempo	43
FIGURA 16	– Diagrama esquemático da unidade MNRU	49
FIGURA 17	– Resposta em frequência do filtro IRR - G.712	50
FIGURA 18	– Limiares de audição e de mascaramento, sinal 1 kHz	51
FIGURA 19	– Diagrama de blocos do codificador G.726	52
FIGURA 20	– Diagrama de reprodução/gravação de áudios	57
FIGURA 21	– Diagrama de sistema - Condições de teste G11 e G1A	58
FIGURA 22	– Diagrama de sistema - Condições de teste G12 e G2A	59
FIGURA 23	– Diagrama de sistema - Condições de teste G13 e G3A	59
FIGURA 24	– Mapa de de vôo, condições de teste G16, G17, G18, G5A e G6A	60
FIGURA 25	– Diagrama de sistema - Condições de teste G14, G15 e G4A	61
FIGURA 26	– Diagrama de sistema - Condições de teste G17	62
FIGURA 27	– Diagrama de sistema - Condições de teste G18 e G5A	63
FIGURA 28	– Mapa de de vôo, condições de teste G19, G20, G21, G22, G23, G24, G7A e G8A	63
FIGURA 29	– Diagrama de sistema - Condição de teste G19	64
FIGURA 30	– Diagrama de sistema - Condições de teste G20 e G7A	65
FIGURA 31	– Diagrama de sistema - Condição de teste G21	65
FIGURA 32	– Diagrama de sistema - Condição de teste G22	66
FIGURA 33	– Diagrama de sistema - Condições de teste G23 e G8A	67
FIGURA 34	– Diagrama de sistema - Condição de teste G24	67
FIGURA 35	– Valores de MOS por grupo conforme obtido no experimento subjetivo .	78

FIGURA 36	– Valores de MOS por grupo conforme obtido no experimento subjetivo .	79
FIGURA 37	– Valores de MOS por grupo conforme obtido no experimento subjetivo .	80
FIGURA 38	– Valores de MOS por grupo conforme obtido no experimento subjetivo .	81
FIGURA 39	– Comparação do MOS entre grupos de frases ATC e ITU	81
FIGURA 40	– Rotina de sincronização utilizada pelo PESQ	84
FIGURA 41	– Resposta em frequência do filtro IRS	85
FIGURA 42	– Diagrama de blocos de processamento de voz definido pela ITU-TP563	89
FIGURA 43	– Distribuição dos resultados de aplicação do PESQ e SESQ - grupos G1 a G16	95
FIGURA 44	– Distribuição dos resultados de aplicação do PESQ e SESQ - grupos G17 a G25	96
FIGURA 45	– Distribuição dos resultados de aplicação do PESQ e SESQ - grupos G1A a G8A	97
FIGURA 46	– Comparação do PESQ com MOS obtido nos Experimentos Subjetivos .	98
FIGURA 47	– Comparação do SESQ com MOS obtido nos Experimentos Subjetivos .	98
FIGURA 48	– Representação gráfica do PESQ e SESQ em relação ao MOS, para todos os grupos	99
FIGURA 49	– Representação gráfica do PESQ e SESQ em relação ao MOS, para todos os grupos com comunicações ATC	99
FIGURA 50	– Representação gráfica do PESQ e SESQ em relação ao MOS, para todos os grupos com vocabulário ATC	99
FIGURA 51	– Avião utilizado para transmissão e recepção de sinais de áudio em teto operacional baixo	108
FIGURA 52	– Avião utilizado para transmissão e recepção de sinais de áudio em teto operacional alto	108
FIGURA 53	– Interface de áudio para computador 16 bits 44,4 kHz utilizado na aplicação das condições de teste	109
FIGURA 54	– Acessórios de alimentação e inversor de frequência utilizados em testes em aeronave	109
FIGURA 55	– Conector ODU modelo 0Y R-P010 0-000	110
FIGURA 56	– Diagrama da interface tipo "SITTI"	111
FIGURA 57	– Plug de aviação tipo PJ-068 de 0,206" utilizado para conexão do micro-fones em aeronaves	111
FIGURA 58	– Diagrama da interface tipo "Aeronave"	112
FIGURA 59	– Sala de gravação de sinais de referência	112
FIGURA 60	– Sala para aplicação do teste subjetivo	113
FIGURA 61	– Microfone utilizado na gravação de sinais de referências	114
FIGURA 62	– Pre-amplificador de microfone utilizado na gravação	114
FIGURA 63	– Mesa de áudio utilizada na gravação de áudio de referência	115
FIGURA 64	– Conversor analógico-digital e digital-analógico utilizado na gravação ..	115
FIGURA 65	– Conversor analógico-digital e digital-analógico utilizado na gravação ..	116
FIGURA 66	– Pré-amplificador linear de microfone AVID HD Omni utilizado em sessões de gravação	116
FIGURA 67	– Monitor de áudio de referência utilizado nos ensaios	117

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Posições da fonte de áudio e da captação para cada arquivo gravado - Estúdio Principal	33
TABELA 2	– Posições da fonte de áudio e da captação para cada arquivo gravado - Sala de Conveniência	33
TABELA 3	– Valores estimados de RT60 para as salas utilizadas no estudo subjetivo .	35
TABELA 4	– Função discreta $W(I(k))$	53
TABELA 5	– Função discreta $F(I(k))$	54
TABELA 6	– Condições de referência aplicadas	55
TABELA 7	– Condições de teste aplicadas, grupo ITU	56
TABELA 8	– Condições de teste aplicadas, grupo ATC	56
TABELA 9	– Valores de MOS obtidos no experimento subjetivo por condição	77
TABELA 10	– Valores médios de MOS em diferentes situações usando meios de ATC	79
TABELA 11	– Valores de MOS previstos para os métodos objetivos empregado	92
TABELA 12	– Correlação entre MOS e valores previstos do PESQ e SESQ - Todos os grupos	93
TABELA 13	– Correlação entre MOS e valores previstos do PESQ e SESQ - Somente Grupos de Testes	94

LISTA DE SIGLAS

SMA	Serviço Móvel Aeronáutico
ICAO	Organização Internacional de Aviação Civil
AM	Amplitude Modulada
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
ATC	<i>Air Traffic Control</i> ou Controle de Tráfego Aéreo
MOS	<i>Mean Opinion Score</i>
SESQ	<i>Single-Ended Speech Quality Assessment</i>
PESQ	<i>Perceptual Evaluation of Speech Quality</i>
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
ATCO	<i>Air Traffic Controller</i> , ou Controlador de Tráfego Aéreo
TWR	<i>Tower - Aerodrome Control</i>
APP	<i>Approach Control</i> , Centro de Controle de Aproximação
ACC	<i>Area Control Centre</i> , Centro de Controle de Área de AZ (Manaus), A0 (Atlântico), BS (Brasília), CW(Curitiba), RF(Recife)
FIR	<i>Flight Information Region</i> ou Região de Informação de Voo
ICA	Órgão: Instituto de Cartografia da Aeronáutica
VHF	<i>Very High Frequency</i>
PTT	<i>Push to talk</i> , comando de liberação de portadora
DG	Distribuidor Geral de Telecomunicações
VOIP	<i>Voice Over IP</i>
ATIS	<i>Automatic Terminal Information Service</i> , frequência de serviço de mensagens gravadas do terminal
GNDC	<i>Ground Control</i> , frequência de controle de solo
WAV	<i>Waveform Audio File Format</i>
MLS	<i>Maximum Length Sequence</i> , ou Sequência de Comprimentos Máximos
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i>
CEP	Comitê de Ética da UTFPR
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TCUISV	Termo de Consentimento para Uso de Imagem e Som de Voz
MNRU	<i>Modulated Noise Reference Unit</i>
ADPCM	<i>Adaptive differential pulse code modulation</i>
IIR	<i>Infinite Impulse Response</i> , ou resposta infinita ao impulso
DTCEA	Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de CT (Catanduvas), MDI (Morro da Igreja)
ICA	Documento, Instrução do Comando da Aeronáutica
PDH	<i>Plesiochronous digital hierarchy</i> , ou hierarquia digital plesiócrona
KT-VHF	Casa de transmissão de VHF
GEIV	Grupamento de Ensaio em Voo do DECEA
PCO	Estação Terrena de VHF de Pico do Couto - RJ
CAM	Estação Terrena de VHF de Campos-RJ
PIE	Estação Terrena de VHF de Piedade-MG

VARG	Estação Terrena de VHF de Varginha-MG
ACR	<i>Absolute category rating</i>
DSIS	<i>Double-stimulus impairment scale</i>
DSCQS	<i>Double-stimulus continuous quality scale</i>
VOIP	<i>Voice Over IP</i>
IRS	<i>Intermediate Reference System</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i> , ou transformada rápida de Fourier
LPC	Coeficiente de predição linear
THD	Distorção harmônica total

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	18
1.1.1 Estrutura Operacional do SMA	18
1.1.2 Aspectos Técnicos da Prestação do SMA	20
1.1.3 Modo de Operação do SMA	23
1.2 MOTIVAÇÃO	24
1.3 OBJETIVOS	25
1.3.1 Objetivo Geral	25
1.3.2 Objetivos Específicos	25
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	26
2 GERAÇÃO DE ESTÍMULOS - GRAVAÇÃO DOS SINAIS DE VOZ	28
2.1 NECESSIDADES DE EQUIPAMENTOS E RECURSOS	28
2.2 VALIDAÇÃO DAS SALAS DE GRAVAÇÃO	29
2.2.1 Medição de Reverberação das Salas	29
2.2.2 Ruído Ambiente das Salas	34
2.2.3 Resultados da Validação das Salas	34
2.3 GRAVAÇÕES DE SINAIS DE VOZ	37
2.3.1 Requisitos de Gravação	37
2.3.2 Preparação das Sessões de Gravação	38
2.3.3 Sessões de Gravação	40
2.4 PRÉ-PROCESSAMENTO E PREPARAÇÃO DOS SINAIS DE VOZ	41
2.4.1 Modelagem de Sinais de Voz	42
2.4.2 Algoritmo de Normalização de Sinais de Voz	43
2.4.3 Pré-processamento, Tom de Calibração	45
3 GERAÇÃO DE DEGRADAÇÕES - TESTES E SITUAÇÕES DE CONTROLE	48
3.1 PROCESSAMENTOS ADICIONAIS: DEGRADAÇÕES CONTROLADAS	48
3.1.1 Processamentos de Referência Utilizados	48
3.1.2 Aplicação das degradações/tratamentos controlados	54
3.2 TESTES DAS COMUNICAÇÕES ATC	55
3.2.1 Equipamentos para aplicação das condições de teste	56
3.2.2 Detalhamento das condições de teste	57
3.2.3 Execução dos testes em voo	67
4 AVALIAÇÃO SUBJETIVA	69
4.1 ESTADO DA ARTE	70
4.2 REQUISITOS NORMATIVOS	71
4.2.1 Planejamento do Experimento	71
4.2.2 Requisitos de Execução	72
4.3 PREPARAÇÃO DO EXPERIMENTO SUBJETIVO	73
4.3.1 Delineamento do Experimento Subjetivo e Intervenções nos Participantes	74
4.4 RESULTADOS DO EXPERIMENTO SUBJETIVO	75
5 AVALIAÇÃO OBJETIVA	82

5.1	MÉTODOS OBJETIVOS COM REFERÊNCIA	83
5.2	MÉTODOS OBJETIVOS SEM REFERÊNCIA	88
5.3	APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE ANÁLISE OBJETIVA	90
5.3.1	Indicadores de correlação	90
5.4	RESULTADOS DE DESEMPENHO DOS MÉTODOS OBJETIVOS	91
6	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	100
6.1	TRABALHOS FUTUROS	102
	REFERÊNCIAS	103
	Anexo A – RECURSOS, EQUIPAMENTOS E INFRAESTRUTURA	107
A.1	MATERIAIS E RECURSOS PARA TESTES COM AERONAVES	107
A.2	MATERIAIS E RECURSOS PARA GRAVAÇÃO E TESTE SUBJETIVO	111
	Anexo B – ROTEIRO DO LOCUTOR E LISTA DE FRASES	118
	Anexo C – MODELO DE QUESTIONÁRIOS: LOCUTOR E AVALIADOR	126
	Anexo D – TLCE E TCUISV UTILIZADOS NA PESQUISA	129
	Anexo E – FORMULÁRIOS DE ACOMPANHAMENTO DE GRAVAÇÃO	138
	Anexo F – RESULTADOS DE PRÉ-PROCESSAMENTO DOS ÁUDIOS	141
	Anexo G – DIVISÃO DE FRASES EM GRUPOS DE TRATAMENTO	148
	Anexo H – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS - TESTES EM VÔO	151
	Anexo I – MODELO DE QUESTIONÁRIOS DE AVALIAÇÃO	154
	Anexo J – LISTAS DE REPRODUÇÃO DAS SESSÕES SUBJETIVAS	158

1 INTRODUÇÃO

As telecomunicações aeronáuticas para fins de controle de tráfego aéreo são realizadas entre as aeronaves e os centros de controle, torres e estações de aeroportos localizados no solo. Dentre as comunicações utilizadas no Serviço Móvel Aeronáutico (SMA) padronizadas pela Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO), a de maior importância para a segurança da aviação é a comunicação por voz, por onde são fornecidos procedimentos e informações importantes e realizadas as coordenações necessárias para organizar o espaço aéreo. Através do SMA são passadas instruções de navegação, como nível de voo (altitude), emitidos alertas e informações de tráfegos conflitantes.

As comunicações por voz ocorrem por meio de transmissão e recepção analógica, na faixa de 117 a 137 MHz, em AM, em *half-duplex* através de estações de comunicações que podem distar a mais de 1000 km do Centro de Controle. Os sinais precisam ser encaminhados ao Centro de Controle onde as equipes de controle de tráfego aéreo fazem as coordenações necessárias, passando por diferentes equipamentos e mídias de comunicação e sofrendo alterações ao longo do percurso.

Nessas comunicações, podem ser observadas diferentes formas de degradação, pois os sinais ficam sujeitos à diferentes degradações relacionados à propagação de rádio-frequência, interferências com outros transmissores locais, interferências por descargas atmosféricas, entre outros. Na estação de comunicação remota podem ocorrer problemas relacionados aos equipamentos de recepção tais como a saturação de receptores, atenuações de sinal por mal contato elétrico, entre outros. Além disso, ao serem transmitidos ao Centro de Controle, dependendo da mídia que transportará o sinal, este passará por conversões analógico-digital e digital-analógico podendo passar por compressões e outros tratamentos que possivelmente podem causar degradações ou adicionar artefatos indesejados.

Os requisitos de comunicação para os serviços de controle de tráfego aéreo são definidos num documento, o Anexo 10 da ICAO, em seus 5 volumes (ICAO, 1996). Este documento determina que, para a avaliação de qualidade de áudio das comunicações aeronáuticas, devem

ser atendidos aos requisitos da *International Telecommunications Union* (ITU). Considerando que a inteligibilidade dos diálogos pode impactar a segurança da aviação e devido ao grande número de fatores degradantes que os sinais de voz em telecomunicações aeronáuticas podem sofrer, e ao aumento do tráfego aéreo registrado nos últimos anos, a avaliação da qualidade de sinais de voz nas telecomunicações aeronáuticas ganhou relevância.

A identificação da qualidade de sinais de áudio e voz é um assunto importante na área de telecomunicações e é considerada uma análise subjetiva, pois depende do julgamento de indivíduos (usuários) de um determinado serviço. Os testes de análise subjetiva utilizados para levantamento de qualidade de voz consistem na aplicação de um trecho de áudio de referência a um grupo de pessoas que avaliam a qualidade do sinal em termos de inteligibilidade. Outra possibilidade é o uso de métodos objetivos de análise, que utilizam modelos matemáticos para avaliar a qualidade de voz. Essa técnica apresenta baixo custo, por não necessitar das pesquisas de opinião e quando automatizada pode ser utilizada para o monitoramento em tempo real da qualidade do serviço prestado.

Neste trabalho, foi realizado um experimento subjetivo de qualidade de áudio levando em consideração os requisitos da ITU-T P.800 - *Methods for Subjective Determination of Transmission Quality* (ITU, 1996b), norma considerada referência na execução deste tipo de teste. Nesta etapa, os sinais foram gravados por um grupo de locutores em um estúdio, tratados e organizados de maneira a serem utilizados nos experimentos. Os sinais foram então degradados de diferentes maneiras, representando situações comuns de comunicação de controle de tráfego aéreo (ATC), e posteriormente avaliados por um grupo de pessoas, a fim de se determinar o *Mean Opinion Score* (MOS), um índice de 1 a 5 que representa a qualidade percebida de um determinado trecho de áudio.

Em seguida, os dados obtidos no experimento subjetivo são utilizados para a avaliação de métodos objetivos existentes, entre eles o método objetivo sem referência denominado *Single-Ended Speech Quality Assessment* (SESQ), definido na norma ITU-T P.563 (*Single-ended method for objective speech quality assessment in narrow-band telephony applications*) e o método com referência denominado *Perceptual Evaluation of Speech Quality* (PESQ), definido na norma ITU-T 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*). Foi realizada então uma análise de desempenho destes métodos de análise objetiva aplicados à sinais degradados pelos meios utilizados nas comunicações aeronáuticas.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A determinação de qualidade de voz percebida pelos usuários das telecomunicações aeronáuticas necessita do conhecimento do modo de operação do Sistema de Controle de Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), dos agentes responsáveis e das atribuições de cada um. Esta seção é dedicada à contextualização do problema.

Em um esforço para padronizar os procedimentos da aviação civil foi estabelecida em 1944 a Convenção Internacional da Aviação Civil de Chicago. Nesta Convenção foi estipulada uma legislação internacional com objetivo de promover a regulamentação da atividade aérea, com enfoque na segurança operacional. Um dos resultados deste encontro foi a criação da ICAO, órgão internacional permanente responsável pela criação e atualização de padrões e normas internacionais da aviação civil.

A Convenção de Chicago foi promulgada no Brasil em 1946 (BRASIL, 1946) para aplicação em âmbito nacional, e, conforme o Código Brasileiro de Aeronáutica (BRASIL, 1986), ficou a cargo do Comando da Aeronáutica, através do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), o gerenciamento e prestação dos serviços de controle de tráfego aéreo. No âmbito do Comando da Aeronáutica, foi instituído o SISCEAB, composto por diferentes órgãos e agentes cuja responsabilidade é prestar, regular e fiscalizar os serviços de tráfego aéreo no Brasil além de promover o cumprimento das normas da ICAO em âmbito nacional.

Dentre os serviços de tráfego aéreo prestados pelo SISCEAB, o que possui maior importância é o SMA. Este serviço consiste em prover um meio de comunicação entre as aeronaves que trafegam em determinado espaço aéreo e um controlador de tráfego aéreo (ATCO) situado em um órgão de controle de tráfego aéreo. As informações consistem em instruções de navegação para organização do tráfego aéreo, e conforme a normatização vigente devem ser utilizados recursos de comunicação de maneira a garantir maior probabilidade de sucesso nas tentativas de comunicação. Nas seções seguintes serão apresentadas a estrutura operacional do SMA e as soluções técnicas utilizadas para a prestação deste serviço.

1.1.1 ESTRUTURA OPERACIONAL DO SMA

Os agentes do SMA, conforme definido pela ICAO e suas respectivas funções são: **Torre (TWR)**, que presta serviços de navegação de aeronaves em processos de pouso e decolagem, em trânsito nos pátios e pistas dos aeródromos; **Centro de Controle de Aproximação (APP)**, responsável pela prestação de serviços de navegação em instantes posteriores à decolagem e que precedem o pouso, com área de cobertura de aproximadamente 40 milhas náuticas de

distância do aeródromo; **Centro de Controle de Área (ACC)**, que presta serviços de navegação para aeronaves em rota, entre as áreas de atuação dos APP. A Figura 1 apresenta a disposição dos agentes do SMA e suas regiões de responsabilidade, conforme definição da ICAO.

Figura 1: Representação dos agentes do SMA

Conforme pode ser observado na Figura 1, TWR e APP operam no espaço aéreo imediatamente próximo aos aeródromos, onde normalmente são localizadas os equipamentos de telecomunicações responsáveis pelos serviços de voz destes agentes. Em contrapartida, as áreas de atuação dos ACC englobam todo o espaço aéreo sob sua responsabilidade. Levando em consideração que a extensão do território nacional é superior a 8,5 milhões de quilômetros quadrados, que a área de controle supera 22 milhões de quilômetros quadrados, e a concentração de tráfego aéreo nos principais centros urbanos do país, foram constituídos dezenas de órgãos de controle de tráfego aéreo, entre TWR, APP e ACC. A Figura 2 apresenta a área de controle de espaço aéreo sob jurisdição do SISCEAB, bem como sua divisão em regiões de informação de voo (FIR sob a responsabilidade de cada um dos 5 ACC que o compõem).

O Centro de Controle de Área de Brasília (ACC-BS), localizado na cidade de Brasília tem responsabilidade sobre a FIR Brasília, o Centro de Controle de Área de Brasília (ACC-CW), sediado em Curitiba atua sobre a área da FIR Curitiba. Já o Centro de Controle de Área de Recife (ACC-RF) e o Centro de Controle de Área do Atlântico (ACC-A0) são sediados em Recife e atuam sobre as áreas da FIR Recife e FIR Atlântico. O Centro de Controle de Área de Manaus (ACC-AZ), localizado em Manaus tem responsabilidade sobre a FIR Amazônica, conforme identificado na Figura 2. As áreas de atuação podem ser eventualmente modificadas, e por esta razão, são disponibilizadas pelo Instituto de Cartografia da Aeronáutica (ICA) aos aeronavegantes através de cartas de navegação aérea.

Ainda, de maneira a possibilitar a distribuição de tráfego aéreo entre os operadores

Figura 2: Área de controle de tráfego aéreo no Brasil e regiões de responsabilidade dos ACC

Fonte: (DECEA, 2016)

e de maneira a otimizar os recursos de telecomunicações, as áreas de abrangência dos ACC são subdivididas em setores. Para o caso do ACC-CW, objeto de estudo desta Dissertação, o espaço aéreo foi subdividido em 12 setores, abrangendo as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

1.1.2 ASPECTOS TÉCNICOS DA PRESTAÇÃO DO SMA

Os requisitos técnicos para prestação do SMA são definidos na parte II do Anexo 10 da ICAO (ICAO, 1996), incluindo a especificação de que todas as comunicações por voz deverão ser realizadas em amplitude modulada (AM), com portadora e banda lateral dupla (DSB), em *half-duplex*, na faixa de espectro de VHF entre 117 e 137 MHz e que a potência radiada dos transmissores em solo deverá ser tal a alcançar um campo elétrico mínimo de 75 microvolts por metro (-109 dB/m^2) em toda a área de cobertura. A comunicação deverá ser bilateral (nos sentidos controlador-aeronave e aeronave-controlador). Este documento define ainda as separações de canal, fatores de modulação, especificações de receptores de solo, transceptores de aeronaves, características de imunidades a interferências, entre outros.

A ICAO determina ainda que para cada setor de controle de tráfego aéreo (seja em TWR, APP ou ACC) sejam atribuídos dois valores de frequência, sendo uma frequência primária (ou principal) e uma secundária (ou de reserva). Tal especificação se deve à criticidade de aplicação de maneira que, em caso de indisponibilidade de uma frequência, a comunicação

possa ser realizada através de outra.

Sendo assim, quando uma aeronave necessita entrar em contato com um controlador, o piloto sintoniza uma das frequências atribuídas ao setor em que se encontra, aciona o comando de liberação da portadora (PTT) e inicia a fala. O sinal é transmitido em VHF pelo transceptor de bordo e recebido através de uma estação em terra, que será sensibilizada quando o nível de potência de sinal superar -110 dBW, e encaminhará a transmissão ao operador responsável. No caminho inverso, caso um ATCO tente comunicação com uma aeronave, o mesmo aciona o PTT e o sinal é transmitido em VHF através de uma das estações em terra. Convém registrar que as estações de VHF em terra possuem transmissores e receptores sintonizados em ambas as frequências designadas para cada setor, de maneira que a comunicação controlador-aeronave poderá ser realizada independente do canal sintonizado pelo piloto.

Figura 3: Diagrama de blocos simplificado da solução tecnológica utilizada para prestação do SMA. O sinal de voz percorre diversos equipamentos desde o avião até a console de controle do ATCO.

A Figura 3 apresenta um diagrama de blocos simplificado da solução técnica para prestação do SMA, mostrando os principais equipamentos envolvidos na comunicação, entre eles: sistemas de irradiação, receptores/demoduladores de VHF, distribuidores gerais (DG), equipamentos pertencentes às operadoras de telecomunicações, central de áudio, gravadores, entre outros. Os sinais recebidos são todos encaminhados aos centros de controle, através de diferentes canalizações disponíveis, entre estas: satélite, radio-enlaces, comunicações contratadas, em banda base (sinais analógicos), *Voice Over IP* (VOIP) (ainda em teste), etc.

Para o caso de TWR e APP, que possuem abrangência operacional em área próxima aos aeródromos, geralmente é utilizada apenas uma estação de transmissão/recepção em solo para a prestação do SMA. Porém, conforme foi verificado na Seção 1.1.1, os setores do ACC abrangem um extenso volume de espaço aéreo controlado. Por este motivo e devido às limitações

tecnológicas e físicas das radio-comunicações, para o caso dos setores do ACC, normalmente são necessárias duas ou mais estações de radiodifusão em solo para garantir a cobertura necessária à prestação do SMA.

Como exemplo, a figura 4 mostra as estações de comunicação que prestam o SMA no setor 7 do ACC-CW. São utilizadas 5 estações para abranger a cobertura deste setor, cujos diagramas teóricos de irradiação se interceptam em diferentes pontos. A transmissão é realizada utilizando-se um pequeno desvio da frequência da portadora (*offset*) diferente em cada uma das estações próximas, possibilitando reduzir os efeitos de interferências entre as mesmas. Entretanto, a recepção pode ocorrer simultaneamente em todas as estações.

Figura 4: Diagrama de irradiação teórico de estações de telecomunicações do SMA, evidenciando intersecção das coberturas (ACC-CW, setor 7)

Observam-se situações em que os sinais provenientes de uma aeronave são recebidos simultaneamente por até 4 estações de telecomunicações. No ACC deve ser selecionado o melhor sinal e este encaminhado ao controlador responsável, atividade esta, que é realizada por um equipamento denominado Central de Áudio, por meio de um *hardware* proprietário, ou manualmente pelo ATCO.

Ainda sobre os requisitos técnicos do SMA, a ICAO em seu Anexo XXI (ITU, 2001a) recomenda o registro e o armazenamento de todas as mensagens de coordenação realizadas entre as aeronaves e os ATCO. Tal prática se deve à necessidade de rastrear possíveis causas de eventuais acidentes ou incidentes. Cabe ressaltar, no entanto que, no sentido de comunicação piloto - ATCO, o sinal de referência, ou seja a gravação da voz captada antes de ser transmitida pelo piloto, embora normalmente gravado na aeronave, só é disponibilizado aos órgãos compe-

tentes em caso de incidentes ou acidentes aéreos. No sentido inverso de comunicação (ATCO - piloto), o sinal de referência é gravado nos ACC, porém o sinal distorcido dificilmente pode ser obtido pois, novamente, será armazenado pelas aeronaves. Dessa maneira, somente são disponibilizados nos ACC os sinais de referência (gravados antes de serem transmitidos) no sentido ATCO - aeronaves e os sinais distorcidos captados no sentido piloto - ATCO.

Dada esta dificuldade de obtenção dos sinais de referência das aeronaves, este estudo também buscou analisar o desempenho de métodos sem referência, cuja aplicação no SMA seria facilitada.

1.1.3 MODO DE OPERAÇÃO DO SMA

Antes de iniciar a viagem, os aeronavegantes devem apresentar um plano de voo ao DECEA. Neste plano de voo devem ser fornecidos, dentre outras informações importantes, os aeródromos de partida, destino, e a rota a ser utilizada. Com base na aprovação do plano proposto, o aeronavegante deve consultar as cartas de navegação pertinentes a cada etapa do voo, desde a decolagem, voo em rota, aproximação para pouso e pouso.

Numa carta de voo de determinado aeródromo, verifica-se que, junto às primeiras informações fornecidas estão as frequências de *Automatic Terminal Information Service* ou de serviço de mensagens gravadas do terminal (ATIS), APP, TWR e GNDC.

Assim no caso de voo que parte, por exemplo, do Aeroporto Afonso Pena, em Curitiba - PR, o piloto sintonizará uma das frequências indicadas da TWR-CW e realizará as comunicações necessárias com este órgão operacional. Assim que a aeronave deixa o espaço aéreo controlado pela TWR e entra no espaço aéreo de controle do APP, o ATCO da TWR transfere o tráfego ao controlador do APP, e fornece ao piloto a frequência de APP a ser utilizada a partir daquele ponto. O APP assume então o controle do tráfego e passa a monitorar e a coordenar os procedimentos da aeronave. De maneira análoga, ao deixar o espaço aéreo do APP e adentrar a área de controle do ACC, quando a aeronave se encontrar em rota, o ATCO desse órgão coordena o tráfego com o controlador do respectivo setor do ACC e passa a frequência a ser sintonizada pelo piloto para o próximo estágio do seu voo.

Na medida em que a aeronave evolui nos setores do ACC, o tráfego vai sendo transferido e novas frequências são fornecidas aos aeronavegantes, passando pelo APP de destino e, finalmente, a TWR de destino.

Quanto à utilização das comunicações VHF no SMA, convém ainda identificar alguns procedimentos adotados:

1. Pelas Aeronaves: Caso exista algum problema de comunicação, a aeronave pode adotar o uso de outro canal atribuído ao setor (conforme definido nas cartas de navegação). A comunicação será possível tendo em vista a existência de receptores em terra sintonizados em todas as frequências do setor, conforme tratado na seção 1.1.2. Vale ressaltar que independente da frequência escolhida, a transmissão e recepção da aeronave ocorre através de um único canal;
2. Pelos ATCO: Como as estações em terra possuem transmissores sintonizados em todas as frequências de determinado setor, os ATCO podem transmitir simultaneamente as instruções através dos dois canais designado para o setor. Dessa maneira, os sinais transmitidos pelos ATCO são captados pelas aeronaves de determinado setor, independentemente do canal em uso pelas mesmas. No entanto, os ATCO priorizam manter todas as aeronaves de determinado setor em um mesmo canal VHF, tendo em vista que este procedimento favorece a segurança operacional e permite que todas fiquem cientes do tráfego existente.

1.2 MOTIVAÇÃO

Diante do exposto e considerando que as degradações dos sinais de áudio prejudicam a inteligibilidade do diálogo entre os controladores e os pilotos das aeronaves, pode-se afirmar que a qualidade de voz é essencial para a segurança de operação do SMA. Atualmente a identificação de problemas de qualidade de áudio baseia-se em reclamações realizadas diretamente pelos controladores ao setor responsável pelas canalizações, que deve prontamente identificar e corrigir os problemas. No entanto, não há indicadores quantitativos do nível de qualidade percebida pelos usuários (seja piloto ou ATCO), o que motivou a realização de um experimento subjetivo, embasado em normatização atual da ITU, para avaliar a percepção dos usuários sobre o serviço.

Além disso, essa metodologia exige resposta reativa da equipe técnica aos problemas apresentados, dificultando uma análise mais apurada de degradações recorrentes e a percepção de tendências de longo prazo. Nesse contexto, foi avaliado o desempenho de métodos de análise objetiva na avaliação de sinais degradados pelos meios de comunicação de ATC. O uso de um método objetivo eficaz poderia auxiliar na identificação de tendências de degradação de um determinado canal antes de que o mesmo se torne inutilizável e na realização de um levantamento estatístico a fim de se classificar os canais de áudio conforme a qualidade de áudio obtida.

Devido às características técnicas de implantação do SMA, há dificuldade em se obter

os sinais de referência transmitidos pelas aeronaves para realização de análises comparativas. Por este motivo, além do PESQ, considerada uma técnica consagrada de análise com referência, serão estudadas técnicas de análise de sinais sem referência, também denominados de métodos não invasivos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho dos sistemas de comunicações aeronáuticas, quanto à qualidade de voz percebida pelos usuários, através da realização de ensaio subjetivo, e métodos de análise objetiva (PESQ e SESQ), envolvendo pelo menos as seguintes situações: comunicação terra-terra, entre órgãos de controle de tráfego aéreo, comunicações terra-ar e ar-terra entre aeronaves e os órgãos de controle de tráfego aéreo.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Planejar um experimento de análise subjetiva de qualidade de áudio em telecomunicações aeronáuticas com base na norma ITU-T P.800 e aprová-lo junto ao Comitê de Ética da UTFPR (CEP);
- Gravar uma lista de sinais de referência para uso no experimento subjetivo;
- Realizar o processamento dos sinais de referência conforme definições normatizadas;
- Realizar experimentos de campo, submetendo os sinais de referência às situações de comunicação do SMA e realizando gravações nos trajetos aeronave-solo e solo-aeronave;
- Aplicar os sinais gravados e de referência a um grupo de pessoas para realizar a avaliação subjetiva;
- Calcular resultados do experimento subjetivo e consolidar base de dados do experimento para uso em atividades futuras;
- Submeter os sinais degradados aos métodos com referência e sem referência definidos, respectivamente, pelas normas ITU-T P.862 (PESQ) e ITU-T P.563 (SESQ);
- Avaliar o desempenho dos métodos objetivos utilizando como referência, a base de dados de MOS obtidos do experimento subjetivo;

Para melhor entendimento dos objetivos e métodos do estudo, foi elaborado o diagrama da Figura 5 incluindo as principais atividades desempenhadas.

Figura 5: Diagrama de objetivos e etapas do estudo

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta Dissertação possui outros 5 capítulos. Os capítulos 2, 3, 4 e 5 apresentam as etapas desempenhadas neste estudo, cada um contendo, quando aplicável, a sua revisão de literatura pertinente, metodologia utilizada e resultados.

O capítulo 2 apresenta os ensaios preliminares realizados na validação das salas de gravação utilizadas, gravações dos sinais de voz de referência, pré-processamentos exigidos pelas normas aplicadas. O capítulo 3 detalha a realização dos testes nos meios de telecomunicações aeronáuticas, incluindo ensaios com aeronaves e as degradações controladas aplicadas aos sinais gravados. Já o capítulo 4 se dedica à análise subjetiva da qualidade dos áudios obtidos nos

testes e apresentação dos resultados.

O capítulo 5 apresenta a análise objetiva através do PESQ e do SESQ dos sinais de áudio de voz e faz uma avaliação de desempenho destes métodos na previsão da qualidade de áudio percebida pelos usuários. Finalmente, o capítulo 6 apresenta as conclusões e trabalhos futuros sugeridos a partir deste estudo.

2 GERAÇÃO DE ESTÍMULOS - GRAVAÇÃO DOS SINAIS DE VOZ

Este Capítulo apresenta a metodologia utilizada na obtenção das gravações de áudio e pré-processamentos de sinais, necessários aos testes dos sistemas de telecomunicações aeronáuticas e à realização dos ensaios subjetivos. São mostrados os componentes de aquisição bem como explicando o funcionamento dos métodos desenvolvidos para os testes e apresentados os resultados iniciais dos processamentos.

Nesta pesquisa foi necessária a realização de um experimento subjetivo de qualidade de áudio a fim de avaliar o desempenho dos meios de telecomunicações de ATC. Este experimento envolveu a gravação de sinais de áudio de voz em estúdio, o processamento destes sinais por métodos de referência e por outros métodos sob avaliação. Para tal, foram adotados os requisitos e procedimentos estabelecidos na ITU-T P.800 (ITU, 1996b), descrita com maior detalhamento no capítulo 4 desta dissertação.

De maneira a verificar a viabilidade de execução deste experimento, precisou ser realizado primeiramente um levantamento de equipamentos, materiais e recursos necessários. Estes levantamentos são apresentados na seção 2.1.

Já a seção 2.2 traz os procedimentos, métodos utilizados e resultados obtidos da validação das salas de gravação, enquanto a seção 2.3 detalha os procedimentos de gravação empregados e a seção 2.4 dedica-se aos procedimentos de pré-processamento e escolha de áudios empregados neste trabalho.

2.1 NECESSIDADES DE EQUIPAMENTOS E RECURSOS

Primeiramente, foi necessária a avaliação dos recursos necessários à execução da avaliação subjetiva. Foram avaliados os requisitos de materiais, recursos, equipamentos e infraestrutura necessários para a condução do experimento, conforme recomendações da ITU-T P.800 (ITU, 1996b), e/ou das solicitações realizadas pelo CEP. O estúdio utilizado possui infraestrutura e equipamentos bastante superiores às exigências normatizadas. O Anexo A traz as

informações de todos os equipamentos e principais recursos utilizados na avaliação subjetiva, suas principais especificações, marca, modelo e motivo de utilização.

2.2 VALIDAÇÃO DAS SALAS DE GRAVAÇÃO

Foi verificada a necessidade de verificar se as salas do estúdio utilizado atendiam às condições recomendadas pela norma ITU-T P.800 utilizada na elaboração dos testes subjetivos. O primeiro requisito diz respeito à reverberação das salas, normatizado em no máximo 500 ms, e o segundo quanto ao ruído ambiente, que deve ser inferior a 30 dBA. Os dois requisitos foram analisados através de medições descritas nesta seção.

2.2.1 MEDIÇÃO DE REVERBERAÇÃO DAS SALAS

O estúdio possui duas salas que foram utilizadas para a realização dos testes subjetivos. A sala principal (Sala de gravação) possui volume de 91 m^3 e possui reverberação estimada pelo projetista na faixa de 300 a 400 ms. Estúdios de gravação precisam de certa quantidade de reverberação / reflexão de áudio para que seja possível uma maior flexibilidade de gravação com possibilidade de captações em posições diferentes.

Outra sala disponível é a Sala de Conveniência do estúdio, com volume de $75,3 \text{ m}^3$ que foi projetada levando em consideração requisitos de salas de cinema, que possuem maior absorção de som. Foi projetada para obter níveis de 200 a 300 ms de reverberação.

De maneira a atestar as informações estimadas pelo projetista, foi elaborado um ensaio de reverberação levando em consideração os principais requisitos na norma ISO 3382 (*Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*) (ISO, 2008). Foi utilizado o método de resposta ao impulso, que depende do uso de uma fonte de áudio na forma de um delta de Dirac. Embora impossível obtê-lo na prática, existem aproximações adequadas do impulso para a aplicação, como o uso de armas de fogo, ou outras fontes de som abruptas.

O seguinte procedimento foi utilizado:

1. Foram enchidos 14 balões de plástico nº9, para cada ensaio. O estouro dos balões foi utilizado como fonte de sinal de impulso para o ensaio;
2. Foram distribuídas aleatoriamente 6 posições para a locação da fonte de sinal na sala. As posições da fonte de sinal se localizam há mais de um metro das paredes da sala e

foram devidamente registradas, conforme as Figuras 6 e 7, para a Sala de Conveniência e as Figuras 8 e 9 para o Estúdio Principal. A posição vertical das fontes de sinal foi estabelecida em 1,20 m;

Figura 6: Disposição de fonte de impulso e captação do ensaio de reverberação, posições 1,2 e 3 na Sala de Conveniência. P1, P2, P3 correspondem aos pontos de aplicação do impulso e M1, M2 os locais de instalação dos microfones de captação

Figura 7: Disposição de fonte de impulso e captação do ensaio de reverberação, posições 4,5 e 6 na Sala de Conveniência. P4, P5, P6 correspondem aos pontos de aplicação do impulso e M1, M2 os locais de instalação dos microfones de captação

- Para cada uma das posições de fonte de sinal, foram atribuídas duas posições de captação (locação do microfone). A distância mínima do microfone foi calculada usando a expressão 12 em que V é o volume da sala em m^3 , c a velocidade do som em m/s e T a reverberação estimada para a sala, em segundos. Utilizando $V = 91 m^3$, c é $340 m/s$ e T é estimado em $0,2s$. Foi encontrado o valor mínimo de $2,2m$. Foi utilizado então a distância de 3 metros. A posição vertical do captador foi estipulada em $1,2$ metro;

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{c \cdot T}} \quad (12)$$

Figura 8: Disposição de fonte de impulso e captação do ensaio de reverberação, posições 1,2 e 3 no Estúdio Principal. P1, P2, P3 correspondem aos pontos de aplicação do impulso e M1, M2 os locais de instalação dos microfones de captação

Figura 9: Disposição de fonte de impulso e captação do ensaio de reverberação, posições 4,5 e 6 no Estúdio Principal. P4, P5, P6 correspondem aos pontos de aplicação do impulso e M1, M2 os locais de instalação dos microfones de captação

4. Foi utilizado sistema de captação formado por um microfone Neumann U87. Para o ensaio na sala principal, foi utilizado sistema de tratamento composto por pré-amplificador de microfone linear Universal Audio LA-610 MKII, enquanto na Sala de Conveniência foi utilizado o pré-amplificador de microfone linear Avid HD Omni. Foi utilizado sistema de gravação composto por conversor analógico-digital Lynx Studio Aurora 16, ajustados para precisão de 16 bits e taxa de amostragem de 44,1 kHz. As especificações completas dos equipamentos utilizados podem ser encontradas no Anexo A.
5. O microfone e demais componentes foram conectados e os sistemas de captação e gravação foram colocados em funcionamento por pelo menos 15 minutos antes do início das gravações;
6. O microfone foi posicionado em pedestal na altura requerida e foi realizado estouro de um

balão, a distância de três metros da captação, em altura de 1,20 m e com o bico do balão virado na direção oposta ao microfone. O balão foi estourado por meio de dispositivo perfurante para realização da calibração de ajuste de nível, de maneira a evitar a saturação dos sistemas de captação, tratamento e gravação;

7. Para cada conjunto de posições P-M indicadas nas Figuras 6, 7, 8 e 9 foi realizado estouro de balão e gravação do sinal captado;
8. Foram registrados os seguintes móveis e objetos no Estúdio Principal: 5 caixas de som posicionadas na parede, tapete com dimensões aproximadas de 2,2 m de largura e 3,6 m de comprimento. Uma pessoa ocupou a sala durante os ensaios.
9. Foram registrados os seguintes móveis e objetos na Sala de Conveniência: sofá de 3 lugares, duas poltronas simples, móvel de televisão, mesa de centro, tapete. Os móveis mencionados pertencem à sala e não foram removidos nas sessões posteriores de gravação/reprodução de áudio.
10. Foi registrado no estúdio principal temperatura de 23,5°C e umidade relativa de 56 %UR. Na Sala de Conveniência foi registrada temperatura de 25,7°C e umidade relativa de 67 % UR.
11. Realizada a calibração de ganho do microfone, os testes foram iniciados. Para cada conjunto de posição de fonte de sinal - captador, o gravador foi habilitado, o operador do sistema de gravação informava sinalizava indicando que o sistema estava pronto. Um balão era estourado em posição horizontal, com o seu fecho virado em direção oposta ao do microfone. O registro de som foi interrompido cerca de três segundos após as explosões.

Dessa maneira, foram obtidos 24 sinais de áudio, sendo 12 oriundos da Sala Principal e outros 12 da Sala de Conveniência. A Tabela 1 mostra a posição da fonte de áudio e a posição da captação para cada arquivo de áudio gravado, para o Estúdio Principal, enquanto a Tabela 2 mostra estas informações para a Sala de Conveniência, conforme as Figuras 6 a 9. Os sinais foram alinhados no domínio do tempo utilizando a ferramenta PROTOOLS e todos os áudios foram editados para que ficassem com duração de 1 s (44.100 amostras). Os sinais foram armazenados em formato *Waveform Audio File Format* (WAV) para processamento posterior utilizando a ferramenta MATLAB.

Para processamento foi utilizado o método de medida direta de tempo de decaimento (ISO, 2008), calculando-se o envelope de cada sinal de áudio sincronizado no tempo, e anali-

Tabela 1: Posições da fonte de áudio e da captação para cada arquivo gravado - Estúdio Principal

Nome do arquivo	Posição da Fonte de Sinal	Posição do Microfone
POS 1.wav	P1	M1
POS 2.wav	P1	M2
POS 3.wav	P2	M1
POS 4.wav	P2	M2
POS 5.wav	P3	M1
POS 6.wav	P3	M2
POS 7.wav	P4	M1
POS 8.wav	P4	M2
POS 9.wav	P5	M1
POS 10.wav	P5	M2
POS 11.wav	P6	M1
POS 12.wav	P6	M2

Tabela 2: Posições da fonte de áudio e da captação para cada arquivo gravado - Sala de Conveniência

Nome do arquivo	Posição da Fonte de Sinal	Posição do Microfone
POSA 1.wav	P1	M1
POSA 2.wav	P1	M2
POSA 3.wav	P2	M1
POSA 4.wav	P2	M2
POSA 5.wav	P3	M1
POSA 6.wav	P3	M2
POSA 7.wav	P4	M1
POSA 8.wav	P4	M2
POSA 9.wav	P5	M1
POSA 10.wav	P5	M2
POSA 11.wav	P6	M1
POSA 12.wav	P6	M2

sando o tempo para que o distúrbio seja absorvido pelas superfícies da sala. É então calculada a média dos envelopes, resultando no sinal médio de decaimento. Esse sinal é então convertido para a escala logarítmica, passando a ser representado em decibéis.

Foram ajustados dois polinômios de terceiro grau que apresentam menor erro quadrático médio em relação aos sinais medidos. O sinal foi então filtrado com filtro em oitavas de 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz e 4 kHz e, para cada uma das respostas filtradas foi estimado o tempo de decaimento entre -5dB e -25dB, determinando o indicador normalizado RT20, definido como tempo necessário para que o sinal de impulso decaia 20 dB. O RT60 é obtido por extrapolação, multiplicando-se por três o RT20, e é definido como o tempo necessário para que o sinal de impulso decaia 60 dB. Foi utilizado, para o processamento dos sinais adquiridos, um algoritmo elaborado em ambiente do *software* MATLAB.

Foi utilizado o método de medição direta de tempo de reverberação, que é recomendado pela ISO 3382 (ISO, 2008) apenas para ensaios de menor precisão. Embora a explosão de balões não possa ser considerada um sinal de impulso omnidirecional, conforme verificado em (PATYNEN; LOKKI, 2011), esta representa uma boa aproximação dentro de determinadas circunstâncias. Uma medição mais rigorosa poderia ser obtida, por exemplo, utilizando fontes de som específicas para a aplicação e aplicando uma sequência de pulsos pseudo-aleatórios do tipo "Sequência de Comprimentos Máximos"(MLS), calculando-se, em seguida, a correlação cruzada para se obter a resposta ao impulso (BURT, 1998). Entretanto, como o objetivo deste ensaio foi apenas validar a informação de reverberação calculada pelo projetista das salas, a metodologia utilizada pode ser considerada adequada para a aplicação.

2.2.2 RUÍDO AMBIENTE DAS SALAS

Aproveitando-se a configuração dos microfones nas salas, foi realizada gravação de 30 segundos de ruído ambiente do estúdio principal e da sala de conveniência, registrando-se, respectivamente, os arquivos "RUIDO.wav" e "RUIDOS.wav". Desses arquivos, foi extraída a estimativa de densidade espectral de potência do ruído ambiente das salas, utilizando transformada rápida de Fourier e uma janela de Hanning.

2.2.3 RESULTADOS DA VALIDAÇÃO DAS SALAS

Conforme descrito na seção 2.2, o ensaio de reverberação foi realizado com a aplicação de sinais impulsivos de áudio e registro da resposta da sala através de microfone e um gravador. Exemplos de sinais de resposta, no domínio do tempo, para as duas salas utilizadas neste estudo, são apresentados nas Figuras 10 e 11. Observando estas figuras, mesmo sem realizar os cálculos e tratamentos normatizados previstos, já é possível perceber que o Estúdio Principal possui tendência de menor amortecimento ao sinal reverberado do que a Sala de Conveniência.

Foi calculada a média dos 12 sinais obtidos para as duas salas a fim de se obter o decaimento médio do impulso para os ambientes. Foram então ajustados polinômios de terceiro grau para cada sala para cada uma das seguintes bandas de frequência: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz e 4 kHz. Os gráficos de decaimentos médios são exibidos na Figura 12. Os polinômios de terceiro grau ajustados para cada um dos gráficos foram então utilizados para encontrar o RT20. O RT60, encontrado multiplicando o RT20 por três, para cada banda de frequência e para cada sala é apresentado na Tabela 3. Conforme pode ser verificado, o RT60 em nenhuma das condições analisadas, alcançou 500 ms e, portanto, as salas foram consideradas adequadas para a realização das gravações e sessões de avaliação.

Figura 10: Exemplo de Sinal de áudio do ensaio de reverberação - Estúdio principal

Figura 11: Exemplo de Sinal de áudio do ensaio de reverberação - Sala de Conveniência

Tabela 3: Valores estimados de RT60, por banda de frequência, para as salas utilizadas no estudo subjetivo

Banda de frequência	RT60 Estúdio	RT60 Sala de Conveniência
125 Hz	302 ms	241 ms
250 Hz	410 ms	260 ms
500 Hz	338 ms	240 ms
1 kHz	277 ms	235 ms
2 kHz	298 ms	308 ms
4 kHz	233 ms	272 ms

Figura 12: Decaimento médio obtido e polinômio de terceiro grau ajustado - Sala Principal e Sala de Conveniência

Quanto aos ruídos ambientes do Estúdio Principal e da Sala de Conveniência, foi realizada medição de ruído na sala com decibelímetro, registrando níveis de 28 dBA no Estúdio Principal e 29 dBA na Sala de Conveniência. De maneira a obter, de forma qualitativa, as densidades espectrais de potência dos ruídos ambientes das salas, foram utilizadas as gravações de ruído realizadas durante o ensaio de reverberação. A Figura 13 apresenta os espectros de potência de ruído ambiente do Estúdio Principal e da Sala de Conveniência.

Figura 13: Espectro de potência de ruído ambiente - Estúdio Principal e Sala de Conveniência

Verifica-se que o espectro de ruído do estúdio principal apresenta valores na faixa de -110 dB, para bandas de frequência próximas a 100 Hz a -145 dB na faixa de 2 kHz a 20 kHz. Já para o caso da Sala de Conveniência, percebe-se que o comportamento do espectro de ruído tem maior dependência em relação à frequência, além de apresentar maior amplitude. Apresenta valores de cerca de -105 dB em frequências próximas a 100 Hz, decrescendo para um mínimo local de cerca de -155 dB a cerca de 5 kHz e atingindo aproximadamente -130 dB em frequências próximas a 20 kHz. Entretanto, não foi evidenciado ruído pronunciado em banda específica de frequência, de maneira que ambas as salas podem ser consideradas adequadas para

a realização das sessões de gravação e do experimento subjetivo.

2.3 GRAVAÇÕES DE SINAIS DE VOZ

A metodologia descrita na ITU-T P.800 foi escolhida para a realização do experimento subjetivo necessário a esta pesquisa. O procedimento definido nesta norma consiste na gravação de frases aleatórias de curta duração em ambiente e em situações controladas. Em seguida esses áudios devem ser organizados em listas, formando grupos de frases, e cada lista submetida a um tipo de tratamento, sendo algumas listas tratadas com métodos de referência e outras submetidas ao sistema sob estudo, que no caso, são os meios de telecomunicações ATC.

Nesta seção serão descritos os procedimentos de gravação de sinais de áudio de referência realizados neste estudo. Primeiramente, na seção 2.3.1 serão apresentados os requisitos normatizados de gravação de sinais de áudio. Em seguida, na seção 2.3.2 os procedimentos de preparação adotados para as sessões de gravação e no item 2.3.3 o detalhamento das sessões de gravação.

2.3.1 REQUISITOS DE GRAVAÇÃO

A norma ITU-T P.800 define requisitos e recomendações de gravação, apresentando as características do ambiente de gravação, sistema a ser utilizado, material a ser gravado e procedimento geral a ser adotado; requisitos de preparação, apresentando os tratamentos aos quais os áudios deverão ser sujeitos, as condições de referência a serem adotadas, a definição das condições de teste e o projeto do experimento; e as condições de execução, apresentando os requisitos de ambiente, sistema de reprodução, requisitos pessoais e o tipo de instruções a serem fornecidas aos participantes.

Os requisitos de gravação incluem requisitos da sala de gravação, do sistema de recepção e gravação, do material a ser gravado e do procedimento a ser adotado. O documento recomenda que a sala de gravação possua volume na faixa de 30 a 120 m^3 , ruído inferior a 30 dBA e tempo de reverberação RT60 (definido pela ISO 3382-2) inferior a 500 ms.

Quanto ao sistema de gravação, recomenda-se a utilização de gravador digital, com gravação em *Pulse Code Modulation* (PCM) linear, com resolução e amostragem compatíveis com a aplicação. Tendo em vista que a ITU-T P.800 não traz dados de resolução específicos para aplicações de banda estreita, foram utilizados como balizadores os mínimos definidos no padrão ITU-T P.830 - *Subjective Performance Assessment of Telephone-band and Wideband Digital Codecs* (ITU, 1996d), que define requisitos mínimos de resolução e amostragem para

análise de codificadores. Para o caso de sinais de áudio de banda larga (largura de espectro de 8 kHz), esta norma define resolução mínima de 16 bits, e frequência de amostragem de, pelo menos, 16 kHz.

Quanto à captação, a norma ITU-T P.800 define que deve ser utilizado um microfone com característica linear na banda de interesse, e que as gravações deverão ser realizadas com o locutor à uma distância na faixa de 140 a 200 mm do microfone. Define ainda que a sensibilidade do sistema de gravação deverá ser medida no início e no fim das locuções e comparado. Caso seja verificada alteração de sensibilidade do sistema, as gravações deverão ser descartadas e refeitas.

Já em relação ao material a ser gravado, é definido que deverão ser utilizadas pelo menos 4 (quatro) locutores, sendo 2 (dois) masculinos e 2 (dois) femininos, utilizando tom e volume de voz naturais. As frases a serem gravadas deverão ter duração entre dois a três segundos, serem simples, aleatórias e deverão possuir significado. Deverão ser formados grupos com 2 (duas) a 5 (cinco) frases e listas compostas por 5 (cinco) a 10 (dez) grupos. Cada lista formada deverá, posteriormente, ser submetida a um tipo de tratamento, de maneira que não existam listas nem frases repetidas para cada tratamento.

Quanto ao procedimento de gravação, deverá ser assegurada relação sinal-ruído superior a 40 dB, e a gravação deverá ser realizada na faixa de 20 a 30 dB abaixo do nível de saturação do sistema de gravação. Deverá ser registrado 30 segundos de ruído da sala, para análise posterior.

2.3.2 PREPARAÇÃO DAS SESSÕES DE GRAVAÇÃO

Por se tratar de um experimento que envolve seres humanos, uma série de precauções foram necessárias, incluindo a submissão da pesquisa para avaliação do CEP, preparação de termos de aceitação, formulários, procedimentos, entre outros. Nesta subseção serão detalhados os procedimentos adotados na preparação e planejamento necessários à realização das gravações de áudio, em atendimento às referências normatizadas utilizadas e também conforme recomendações do Comitê de Ética da UTFPR.

Primeiramente foi elaborada uma lista de 402 frases que foram narradas pelos locutores a fim de se estabelecer a base de sinais de áudio de referência utilizada nesta pesquisa. Procurou-se utilizar vocabulário e construções simples, comumente utilizadas em situações de diálogos. A lista de frases totalizando de 5 a 12 sílabas, de maneira que, ao serem reproduzidas de forma natural, gerassem áudios de voz com duração na faixa de 2 a 3 segundos. A lista de frases é

composta por:

1. Conjunto de frases em português: 153 frases;
2. Conjunto de frases em inglês: 153 frases;
3. Conjunto de frases de controle de tráfego aéreo em português: 48 frases; e
4. Conjunto de frases de controle de tráfego aéreo em inglês: 48 frases;

As listas de frases foram organizadas em ordem aleatória em grupos de três frases. A cada um destes grupos de frases foi atribuído um número de identificação de grupo, e os grupos distribuídos para os 8 locutores que realizaram a reprodução das frases.

Levando em consideração o alto custo de disponibilização do estúdio de gravação e técnicos especializados para a operação dos equipamentos e de maneira a otimizar o tempo dos locutores, foi elaborado um roteiro do locutor. Este documento tem como objetivos: a) apresentar a lista de frases para cada locutor, de maneira que esse possa tomar ciência e reproduzir com antecedência as frases; b) conhecer os procedimentos adotados durante as atividades de locução; c) apresentar o ambiente de realização da locução com antecedência e permitir que esse possa se ambientar com os procedimentos adotados. Um modelo de roteiro utilizado, juntamente com uma das lista de frases empregadas pode ser encontrado no Anexo B.

Todos os procedimentos e recursos necessários foram levantados, e foram elaborados outros documentos adicionais, conforme solicitação do CEP: os Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), Termo de Consentimento para Uso de Imagem e Som de Voz (TCUISV) e Questionário do Locutor. Nestes documentos constam informações como: apresentação e objetivo da pesquisa, condições de confidencialidade, riscos e benefícios da pesquisa, critérios de inclusão e exclusão utilizados, direitos do participante e consentimento quanto ao uso das gravações de voz obtidas na pesquisa. Os termos podem ser encontrados no Anexo D, enquanto o modelo do questionário utilizado pode ser encontrado no Anexo C. O projeto foi então submetido à análise no CEP, obtendo aprovação através do Parecer 2.163.376 de 07 de julho de 2017.

Foi então solicitado ao ACC do CINDACTA II a coordenação necessária para disponibilizar colaboradores com proficiência em português e inglês para a realização das locuções. Foram recomendadas 8 pessoas, sendo 4 do sexo masculino e 4 do sexo feminino, na faixa etária de 22 a 36 anos para as atividades.

Aos indivíduos selecionados foi realizada a entrega dos TCLE e TCUISV e Roteiros de Locução, apresentando um procedimento detalhado das atividades de locução a serem desenvolvidas, incluindo lista individual de 48 frases curtas (com duração entre 2 a 3 segundos quando reproduzidas em voz alta), procedimentos de treinamento e execução do teste;

Foram esclarecidas as eventuais dúvidas e os TLCE e TCUISV foram assinados pelos sujeitos interessados em participar da pesquisa. Nesta data, foi agendada a sessão de gravação de áudios junto ao participante, conforme a disponibilidades destes, do Estúdio BOOM Sound Design e dos técnicos especializados. Foi considerada antecedência de 3 dias da data de entrega do Roteiro de Locução, de maneira que os participantes puderam tomar conhecimento das frases utilizadas;

O arranjo de equipamentos de gravação foi montado com um dia de antecedência e os equipamentos testados de maneira a minimizar o risco de ocorrência de falhas ou imprevistos.

2.3.3 SESSÕES DE GRAVAÇÃO

No dia agendado, antes do início das sessões de gravação, os participantes entregaram as documentações necessárias, incluindo: a) Questionário do Locutor, preenchido na hora, a fim de constatar eventuais condições de exclusão (como o consumo de bebidas alcoólicas); b) Termos de Consentimento, TCLE e TCUISV, conforme recomendações do Comitê de Ética da UTFPR. Os candidatos selecionados que: concordaram com os termos da avaliação, confirmaram fluência nos idiomas português e inglês; confirmarem que não realizaram consumo de substâncias que prejudiquem a atenção/dicção, incluindo álcool; foram liberados a participar da sessão de locução.

O participante foi então levado ao estúdio e reproduziu a lista de frases identificadas como "treinamento", composto por 12 frases. Este procedimento teve o propósito tanto de ambientar o locutor ao procedimento de locução quanto ajustar os equipamentos de gravação para possibilitar a melhor captação possível dentro das condições normatizadas.

As gravações foram então realizadas em conformidade com os procedimentos aprovados pelo CEP da UTFPR, utilizando-se a resolução máxima possível de 24 bits e taxa de amostragem de 192 kHz. Foi utilizado o microfone Neumann e pré-amplificador Avalon. O pré-amplificador foi ajustado com ganho 40 dB, impedância configurada em 850 ohm e selecionado filtro passa alta de 60 Hz (6 dB por oitava).

Cada participante fez a locução de 48 frases. Foi elaborado um formulário de acompanhamento de gravações (modelo no Anexo E) e todas as sessões de gravação foram assistidas,

de maneira que falhas de pronúncia puderam ser corrigidas na própria sessão. A gravação foi realizada de forma contínua e os trechos de áudios das frases foram editados utilizando a ferramenta de uso profissional PROTOOLS, retirando os trechos de áudio substituídos.

Os arquivos foram editados e salvos em formato de áudio WAV, utilizando o modelo indicado na Figura 14, em que **X** identifica o sexo do locutor (**F** para feminino e **M** para masculino), **Y** é a identificação do locutor (algarismo de 1 a 4), **ZZ** é a sessão de gravação e **RR** é a identificação da frase (de 1 a 60).

Após a realização da locução, a participação destes sujeitos no experimento é finalizada, e os sinais obtidos submetidos aos tratamentos, processamentos de referência, condições de teste descritas nos itens subsequentes.

Figura 14: Modelo de nome de arquivo de gravação

2.4 PRÉ-PROCESSAMENTO E PREPARAÇÃO DOS SINAIS DE VOZ

Nesta etapa, os sinais gravados pelos sujeitos precisaram ser analisados e processados a fim de verificar se atendiam aos critérios estabelecidos na norma ITU-T P.800. Entre estes, se o nível médio de gravação estava na faixa de -30 a -20 dB em relação ao nível de saturação e se possuíam duração entre 2 a 3 segundos.

Para os sinais que não foram descartados, a norma ITU-T P.800 recomenda que os áudios devem ter as amplitudes normalizadas de maneira que o nível de áudio do sinal de voz (descontados os trechos de silêncios, impulsos, ecos e ruídos) fique situado a -26 dB do nível de saturação. Para tal, é disponibilizado na recomendação ITU-T P.56 (ITU, 1993b) em seu Método "B", um procedimento iterativo de medição do sinal de voz que realiza o cômputo do nível de sinal de fala de um sinal de áudio. O método em questão varre o sinal de áudio, calculando o envelope de potência de cada amostra do sinal levando em consideração um de-

terminado limiar pré-estabelecido. Os envelopes são calculados na medida em que o algoritmo avança nas amostras de áudio até o fim da execução. Ao término o algoritmo realiza uma interpolação entre os limiares encontrados em cada amostra a fim de determinar o nível médio de fala no sinal de áudio.

A norma utilizada então recomenda que esta técnica seja utilizada para medir o nível do sinal após a realização da normalização, tomando-se os devidos cuidados para que não ocorra saturação do sinal em nenhuma amostra para evitar distorções. A Seção 2.4.2 apresenta a fundamentação teórica para compreensão do algoritmo definido na ITU-T P.56, utilizado para a normalização dos sinais de áudio.

Realizada a normalização dos sinais, o nível de sinal em cada um dos trechos gravados deve ser calculado e armazenado, e a média dos valores deve ser calculada. Este valor médio deverá ser utilizado para gravar um tom de calibração, que deverá ser utilizado na fase de execução da avaliação, para calibrar o sistema de reprodução e possibilitar que cada pessoa ou grupo de pessoas responsável pela avaliação seja submetida à mesma pressão sonora.

O próximo passo é a organização dos sinais em listas para aplicação das condições de referência e teste. Deverão ser elaboradas nesta fase o número de listas necessário a atender pelo menos três condições de referência, além das condições sob estudo. As condições de referência consistem em degradações controladas do sinal de áudio, e têm como objetivo criar uma situação de controle para ser utilizada como comparação aos outros tratamentos e para garantir que o ensaio possa ser repetido em diferentes laboratórios. As condições de referência recomendadas são: adição de ruídos controlados, variação de nível de sinal, alteração da relação sinal-ruído ou outras situações de referência, como codificações padronizadas. A base de dados contida na ITU-T P.23 (ITU, 1998), por exemplo, utiliza como processamentos de referência o sinal PCM em 64 kbits/s, sinal "direto" ou sem processamento, *Adaptive differential pulse code modulation* (ADPCM) em 32 kbits/s e o *Modulated Noise Reference Unit* (MNRU) definido na ITU-T P.81 (ITU, 1996c).

Para o melhor entendimento do funcionamento dos algoritmos utilizados na preparação dos sinais é necessária uma breve exposição sobre modelagem de sinais de voz e fala, conforme apresentado na Seção 2.4.1.

2.4.1 MODELAGEM DE SINAIS DE VOZ

Uma abordagem utilizada na modelagem de sinais de voz é a representação de situações de conversações utilizando máquinas de estados ou cadeias de Markov. Brady, ao estudar

métodos de detecção de conversações em linhas telefônicas (circuitos *full-duplex*) introduziu técnicas de análise dos estados de uma conversação com base em medidas objetivas de tempos (BRADY, 1965). Definiu então o "*throw-away time*", como tempo de um sinal a ser descartado, por representar espúrias ou ruídos. Definiu ainda o tempo de ligação entre consoantes de uma palavra, como "*fill-in time*", que deverá ser maior do que o "*throw-away time*" e precedido e sucedido por trechos de conversação. Já o "*hangover time*" define o tempo a ser considerado para término do diálogo. A Figura 15 mostra um exemplo de sinal de voz, identificando os tempos mencionados no estudo de Brady.

Figura 15: Parâmetros de tempo de uma conversa, segundo Brady. H.O.T indica o *hangover time*, T.A.T o *throw-away time* e F.I.T o *fill-in time*

Ao especificar esses parâmetros objetivos, pode-se descartar trechos do áudio que não são considerados sinais de fala. De acordo com o estudo de Brady, o *throw-away time* de 10 ms é suficiente para a remoção de espúrios de áudio, embora outros trabalhos como de Aschenbruck (ASCHEBRUCK N.; MARTINI, 2007) configurem o parâmetro acima de 300 ms. Conforme verificado por Rossi, no entanto, para o caso do SMA, a configuração em 300 ms acarretaria descarte de trechos de áudio importantes entre pausas intersilábicas (ROSSI, 2015).

Já para o caso do *fill-in time*, caracterizado como tempo entre rajadas de voz entre as sílabas, um valor de 200 ms é considerado adequado pelos estudos de Brady e Gruber, e o mesmo se aplicando para o *hang-over time* (BRADY, 1965; GRUBER, 1982).

2.4.2 ALGORITMO DE NORMALIZAÇÃO DE SINAIS DE VOZ

Conforme verificado na seção 2.4, foi necessário empregar um algoritmo para medir o nível médio dos sinais de voz gravados e encontrar um parâmetro multiplicador a fim de normalizar as amostras de áudio gravadas. O método recomendado pela norma ITU-T P.800

é o definido pela recomendação ITU-T P.56. De forma sucinta, o algoritmo da ITU-T P.56, utilizado para a medição de nível de sinais e normalização dos mesmos funciona da seguinte maneira:

- Seja x_i as amostras sucessivas do trecho de áudio, em que $i=1,2,3,...,n$, e n é o número de amostras;
- Submeter as amostras ao Processo 1, acumulando o número total de amostras n_i , soma dos sinais s_i e soma quadrática sq_i , conforme a Equação 13;

$$\begin{cases} n_i = n_{i-1} + 1 \\ s_i = s_{i-1} + x_i \\ sq_i = sq_{i-1} + x_i^2 \end{cases} \quad (13)$$

- Submeter as amostras ao Processo 2, calculando a média exponencial retificada do sinal (envelope), conforme a Equação 14, em que t é o período da amostra (inverso da frequência de amostragem), T é o coeficiente de alisamento, definido em 0,03 s, p é um valor intermediário de cálculo e q é definido como envelope do sinal;

$$\begin{cases} p_i = e^{(-t/T)} \cdot p_{i-1} + (1 - e^{(-t/T)}) \cdot |x_i| \\ q_i = e^{(-t/T)} \cdot q_{i-1} + (1 - e^{(-t/T)}) \cdot |p_i| \end{cases}, p_o = q_o = 0 \quad (14)$$

- Seja c uma série de valores de limiares de intensidade espaçados em progressão geométrica em intervalos de 2:1 (6,02 dB), do máximo valor quantizado ao menor, sendo j o número de elementos desta lista. Seja também a uma lista representando uma contagem de atividade do sinal de áudio e h uma lista de contagem de *hang-over*;
- Para cada valor de j , fazer:

$$\begin{cases} \text{Se } q_i > c_j \text{ ou } q_i = c_j \Rightarrow a_j = a_{j-1} + 1, h_j = 0 \\ \text{Se } q_i < c_j \text{ e } h_j < I \Rightarrow a_j = a_{j-1} + 1, h_j = h_{j-1} + 1 \\ \text{Se } q_i < c_j \text{ e } h_j = I \Rightarrow n/a \end{cases} \quad (15)$$

Observa-se que no primeiro caso o envelope apresenta potência maior do que o limiar testado, então o sinal de fala é considerado ativo para aquele limiar. No segundo caso, o envelope está abaixo do limiar porém o sinal de fala ainda é considerado ativo porque o tempo de *hang-over* ainda não expirou. No terceiro caso, o sinal de fala é considerado inativo para este nível de limiar sob teste. No instante inicial, considera-se $a(0)$ nulo e

$h(0)$ assume o valor de I , que é o valor arredondado inteiro correspondente à razão entre o limiar de *hang-over time* (definido em 0,2 s) e o período de amostragem do sinal.

- Após a finalização dos processos acima, para cada valor de j , são realizados os cálculos a fim de determinar o nível global L , o valor de nível de sinal ativo de fala $A(j)$, e o limiar $C(j)$, todos em decibéis, em relação ao valor de tensão de referência r . As expressões deste cálculo são apresentadas na Equação 16, em que r é o valor de tensão de referência e v o fator de escala do conversor analógico-digital, em V/unidade.

$$\begin{cases} L = 10.\log(sq.v^2/n) - 20.\log(r) \\ A_j = 10.\log(sq.v^2/a_j) - 20.\log(r) \\ C_j = 10.\log(c_j.v) - 20.\log(r) \end{cases} \quad (16)$$

- Então, para cada valor de j , calcula-se a diferença $A_j - C_j$ e compara-se com o valor de margem M , definido em 15,9 dB. É então encontrado, por interpolação, caso não exista, um par de $A(j)$ e $C(j)$ que satisfaça a igualdade $A_j - C_j = M$. Este nível $A(j)$ encontrado será o nível de áudio de fala ativo, resultado do algoritmo, e seu par $C(j)$, o limiar considerado para aquela amostra de áudio.

Compreendido o funcionamento do algoritmo, o que merece ser destacado é que ele pode ser utilizado para encontrar o nível de sinal médio de fala ativa de uma amostra de áudio. Com base nos valores encontrados, este método foi utilizado para encontrar um valor multiplicador a fim de normalizar uma amostra de áudio.

2.4.3 PRÉ-PROCESSAMENTO, TOM DE CALIBRAÇÃO

Os sinais gravados e editados foram exportados pelo software PROTOOLS utilizando duas resoluções, 24 bits 192 kHz, para utilização futura para estudos que necessitem de áudio em altíssima fidelidade e 16 bits 44,1 kHz, para as aplicações tratadas neste trabalho. Os arquivos exportados em 16 bits 44,1 kHz foram então convertidos em arquivo do tipo .RAW, através da retirada do cabeçalho. Os mesmos foram então tratados utilizando o método da ITU-T P.56, conforme definido na seção 2.3.1, através de rotina implementada no MATLAB. Este método normaliza os sinais de áudio de maneira que o conteúdo de voz fique com um nível médio de -26 dB do nível de saturação do sinal, tomando-se o cuidado de que não haja saturação em nenhum instante de tempo. Realizado este pré-processamento, os sinais são regravados num arquivo que apresenta a mesma nomenclatura indicada na Figura 14, adicionando-se o sufixo **norm** depois de **RR**.

Foram então obtidos através do algoritmo descrito no item 2.4.2 os parâmetros dos áudios originais e dos pré-processados (com sufixo **norm**), incluindo tempo de duração do sinal de fala, nível original do sinal e nível após a normalização, bem como o ganho que foi aplicado no sinal original para obtenção do arquivo normalizado. Os dados foram compilados no Anexo F que apresenta também os arquivos que foram descartados do teste. Os atributos que levaram à decisão de descarte de cada arquivo foram destacados, incluindo tempo de duração (insuficiente ou superior ao limite especificado na ITU-T P.800), e nível médio do sinal original (abaixo ou acima da faixa de -30 a -20 dB normalizado). As frases identificadas como tipo **P** são em português, **E** são em inglês, **AE** são frases de controle de tráfego aéreo em inglês e **AP** frases de controle de tráfego aéreo em português. Verifica-se que foram descartadas 42 frases gravadas.

As gravações normalizadas que tiveram seus indicadores aprovados foram então distribuídas em grupos balanceados com duas frases de cada narrador montados da seguinte maneira:

1. Grupos de frases definidos na norma ITU-T P.800

- Contendo duas frases femininas em inglês de mesmo narrador (tipo **E**);
- Contendo duas frases femininas em português de mesmo narrador (tipo **P**);
- Contendo duas frases masculinas em português de mesmo narrador (tipo **P**);
- Contendo duas frases masculinas em inglês de mesmo narrador (tipo **E**);

2. Grupos de frases de controle de tráfego aéreo (ATC)

- Contendo duas frases de controle de tráfego aéreo femininas em inglês de mesmo narrador (tipo **AE**);
- Contendo duas frases de controle de tráfego aéreo femininas em português de mesmo narrador (tipo **AP**);
- Contendo duas frases de controle de tráfego aéreo masculinas em português de mesmo narrador (tipo **AP**);
- Contendo duas frases de controle de tráfego aéreo masculinas em inglês de mesmo narrador (tipo **AE**);

As Tabelas do Anexo G apresentam as listas de reprodução criadas com base na metodologia da ITU-T P.800 e as listas de reprodução com frases típicas utilizadas no controle de tráfego aéreo.

Em seguida, os arquivos foram novamente exportados para o formato “WAV” de maneira que pudessem ser reproduzidos nas interfaces de áudio. Também foi calculado o nível médio dos sinais não descartados, obtendo-se o valor de -26,0 dB abaixo do nível de saturação. Este valor foi utilizado para a criação do tom de calibração de 1 kHz, com duração de 30 segundos, para ser utilizado no ajuste de ganho dos equipamentos de reprodução utilizados no teste subjetivo. O tom de calibração foi criado através de rotina no MATLAB, com resolução de 16 bits e taxa de amostragem de 44,1 kHz. O seu nível foi validado através do método definido na ITU-T P.56, obtendo-se o valor de nível de -26,0 dB. Este sinal também foi exportado em formato “WAV”.

3 GERAÇÃO DE DEGRADAÇÕES - TESTES E SITUAÇÕES DE CONTROLE

Neste capítulo são descritos os procedimentos aplicados aos sinais obtidos no Capítulo 2 a fim de degradá-los, para que, então possam ser avaliados pelos métodos subjetivos e objetivos previstos. Conforme normatizado na ITU-T P.800, alguns grupos de sinais foram aplicados a situações de controle, com degradações controladas, conforme descrito na Seção 3.1. Outros grupos de sinais foram aplicados às condições testadas dos meios comumente utilizados nas comunicações ATC, conforme será verificado na Seção 3.2.

3.1 PROCESSAMENTOS ADICIONAIS: DEGRADAÇÕES CONTROLADAS

Após o pré-processamento dos sinais e organização dos áudios de fala em grupos de frases, cada um dos grupos foi submetido à uma condição de degradação diferente. Alguns dos grupos foram submetidos a degradações controladas, conforme recomendação da norma ITU-T P.800 utilizada e outros grupos foram utilizados nos testes dos meios de telecomunicações ATC, objeto deste estudo. As degradações controladas foram implementadas através de algoritmos, e serão discutidas nesta seção.

3.1.1 PROCESSAMENTOS DE REFERÊNCIA UTILIZADOS

Neste estudo foram escolhidos três métodos de referência. A MNRU, definida pela ITU-T P.81 (ITU, 1996c), a codificação PCM definida na ITU-T G.711 (ITU, 1993a) e a codificação ADPCM definida na ITU-T G.726 (ITU, 1996a).

A MNRU, ou unidade de referência modulada de ruído, consiste num sistema capaz de realizar adição de certa quantidade de ruído de maneira controlada num sinal de áudio. Um diagrama esquemático deste sistema descrito na ITU-T P.81 é ilustrado na figura 16. Pode-se verificar que o sinal, primeiramente, é desacoplado de seu componente de corrente contínua, trazendo seu valor médio para zero. Em seguida, o sinal é dividido em dois caminhos: um caminho de sinal e outro de ruído. No caminho do sinal, o sinal de entrada é atenuado ou am-

plificado (conforme a necessidade), enquanto no caminho do ruído, o sinal original é utilizado para modular uma "portadora" de ruído gerado por meio de um gerador gaussiano que possui amplitude controlável.

Figura 16: Diagrama esquemático da unidade MNRU para sinais digitais de banda larga

Para o caso de sinais digitais e de banda larga, que trataremos neste trabalho, o ruído produzido pela fonte deverá ser gaussiano, na faixa de 0 a 7.000 Hz. A norma define também que o espectro do ruído deverá ser plano na faixa mínima de 50 Hz a 7.000 Hz. Neste caso, também deverá ser implementado um ceifador de picos parametrizado a pelo menos 12 dB acima do nível RMS do ruído gerado. O ruído deverá ser gerado por meio de gerador de números aleatórios gaussianos que deverá possuir um período de pelo menos 2^{20} amostras.

Em seguida o sinal proveniente do caminho de sinal (atenuado ou amplificado) é juntado ao sinal proveniente do caminho de ruído (atenuado ou amplificado) para gerar um sinal distorcido. Para a implementação digital da MNRU, considerando ganho unitário para o sinal de entrada, o sinal de saída do sistema pode ser escrito conforme definido na Equação 18, em que $y(i)$ é o sinal de saída, Q é a razão, em dB, entre o sinal de fala e o valor modulado de ruído pretendida, $x(i)$ o sinal de entrada e $N(i)$ o sinal de ruído.

$$y(i) = x(i)[1 + 10^{-Q/20}N(i)] \quad (18)$$

Outra condição de referência utilizada foi a aplicação da codificação PCM definida no padrão ITU-T G.711 (ITU, 1993a). Esta norma define um conjunto codificador/decodificador de áudio amplamente utilizado em sistemas de telecomunicações, em que um sinal é filtrado na faixa de 300 Hz a 3.400 Hz, amostrado com precisão de 8 bits a uma taxa de amostragem de 8 KHz. Assim, é obtida uma taxa de transmissão de dados de 64 kbits/s.

A filtragem é realizada por um filtro passa-faixa cujas características são definidas no padrão ITU-T G.712 (ITU, 2001b). Este filtro é implementado com propriedades IIR, de maneira a atingir a janela de resposta em frequência exibida na Figura 17. Seguida da filtragem, é realizada a compressão e expansão do sinal.

Figura 17: Resposta em frequência do filtro IIR definido na ITU-T G.712

Fonte: Adaptado de (RAAKE, 2007)

De maneira a atenuar as limitações de faixa dinâmica dos canais de telecomunicações, o procedimento utilizado na ITU-T G.711 pode utilizar duas técnicas de compensação (compressão - expansão), a lei de compressão " μ " ou a lei de compressão "A". Ambas as técnicas levam em consideração o efeito não linear do mascaramento, característica do sistema auditivo humano em que a percepção de um som é afetada pela presença de outro som. A Figura 18 apresenta o limiar de audição e as curvas de mascaramento produzidas por um tom de 1 kHz a diferentes pressões sonoras, conforme verificado por Veldhuis et al. (VELDHUIS R N. J.; WML, 1989). Percebe-se que as curvas de mascaramento de sons são mais abrangentes (possuem maior banda) quanto maior o nível de pressão sonora. Assim, as técnicas de compressão podem se beneficiar desta característica tendo em vista que para a representação de sons de maiores amplitudes pode-se optar por uma resolução mais baixa do que para sinais de menores amplitudes no processo de digitalização. Dessa maneira, os eventuais ruídos de

quantização serão menos perceptíveis em amplitudes elevadas.

Figura 18: Limiares de audição e de mascaramento, sinal 1 kHz, a diferentes pressões sonoras

Fonte: Adaptado de (VELDHUIS R N. J.; WML, 1989)

As leis de compressão compressão "μ" e "A" utilizam uma escala de quantização logarítmica em que sinais de menor amplitude são representados com maior precisão (maior número de bits) do que os sinais de maior amplitude. Como resultado, pode-se obter uma taxa de compressão aproximada de 2:1 mantendo-se a inteligibilidade do sinal de áudio. A curva da lei de compressão "A" pode ser encontrada através equação 19 (FREEMAN, 2005), em que $A = 87,6$, $F_A(x)$ o sinal comprimido e x o sinal de entrada.

$$\begin{cases} F_A(x) = \frac{A|x|}{1+\ln(A)}, & 0 \leq |x| \leq \frac{1}{A} \\ F_A(x) = \frac{1+\ln[A|x|]}{1+\ln(A)}, & \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \end{cases} \quad (19)$$

Já a curva da lei de compressão "μ" pode ser encontrada através equação 20 (FREEMAN, 2005), em que $\mu = 255$, $F_\mu(x)$ o sinal comprimido e x o sinal de entrada.

$$F_\mu(x) = \frac{\ln(1 + \mu |x|)}{\ln(1 + \mu)} \quad (20)$$

Para a reprodução, os sinais são novamente convertidos em PCM linear através das

relações complementares às equações 19 e 20. A implementação destas equações, conforme normatizado ITU-T G.711 é realizada por meio de tabelas de conversão, que aproximam a curva logarítmica a segmentos de retas.

Outro processamento de referência utilizado é o definido na ITU-T G.726 (ITU, 1996a), em que são obtidas taxas de compressão ainda superiores às obtidas por meio da ITU-T G.711. Nesta técnica padronizada, é utilizado o ADPCM, ou modulação diferencial adaptativa por códigos de pulsos. Esta técnica procura estimar o sinal de saída com base na diferença entre o sinal de entrada e um sinal gerado por um modelo de referência. Este sinal de diferença é utilizado na reconstrução do sinal original e pode ser amostrado com uma precisão de 5, 4, 3 ou 2 bits, obtendo-se assim taxas de até 16 kbit/s, ou compressões de até 4:1 em relação ao padrão ITU-T G.711.

O diagrama de blocos simplificado do codificador ADPCM é exibido na Figura 19. Observa-se que a entrada do codificador é um sinal já comprimido pelo padrão ITU-T G.711. O sinal é decodificado e transformado em PCM linear, e calcula-se o sinal de diferença $d(k)$ entre a entrada em PCM linear $si(k)$ e um sinal estimado $se(k)$. Este sinal diferença é armazenado com precisão de 5,4,3 ou 2 bits, dependendo do parâmetro utilizado e corresponde ao sinal codificado. Em seguida, um quantizador reverso reproduz o sinal de diferença a partir desse parâmetro de 5,4,3 ou 2 bits, gerando o sinal $dq(k)$ e este valor é somado ao sinal estimado $se(k)$ a fim de gerar um sinal reconstruído $sr(k)$. O quantizador reverso utilizado leva em consideração a velocidade de transição do sinal aplicando comportamentos de conversão distintos para sinais de voz (que possuem transições alternadas do sinal diferença) e para sinais de dados / tons (que possuem sinais diferença com menores flutuações), multiplicando o valor do sinal por um fator de escala $y(k)$.

Figura 19: Diagrama de blocos simplificado do codificador G.726

Fonte: Adaptado de (ITU, 1996a)

Para o caso de sinais rápidos (sinais de fala, por exemplo), o fator de escala é compu-

tado pela Equação 21, em que y_u é o fator de escala calculado, $W[I(k)]$ é uma função discreta definida pela Tabela 4 para o caso da taxa de transmissão de 32 kbits/s (3 bits de resolução e 1 bit de sinal, e $y(k)$ o fator de escala global calculado na iteração anterior.

$$y_u(k) = (1 - 2^{-5}) \cdot y(k) + 2^{-5} W[I(k)], \quad (21)$$

$$1,06 \leq y_u(k) \leq 10,00$$

Tabela 4: Função discreta $W(I(k))$

$ I(k) $	7	6	5	4	3	2	1	0
$W[I(k)]$	70,13	22,19	12,38	7,00	4,00	2,56	1,13	-0,75

Fonte: (ITU, 1996a)

Já para sinais com transições lentas (dados ou tons por exemplo), o fator de escala é calculado a partir de uma adaptação da Equação 21, conforme descrito na Equação 22, em que $y_l(k)$ é o fator de escala lento calculado, $y_u(k)$ o fator de escala obtido a partir da equação 21.

$$y_l(k) = (1 - 2^{-6}) \cdot y_l(k-1) + 2^{-6} \cdot y_u(k) \quad (22)$$

O fator de escala global $y(k)$ é então obtido por meio da equação 23, em que $a_l(k)$ é o parâmetro de velocidade do sinal.

$$y(k) = a_l(k) \cdot y_u(k-1) + [1 - a_l(k)] y_l(k-1) \quad (23)$$

$$0 \leq a_l(k) \leq 1$$

O parâmetro de velocidade $a_l(k)$ tende para unidade em sinais de voz e tende a ser nulo para sinais de dados transmitidos em banda estreita. O valor é derivado da medida da taxa de variação do sinal diferença $d(k)$. São calculados dois valores de média de $I(k)$, dms e dml conforme definido na Equação 24, em que $F[I(k)]$ é uma função discreta, definida na Tabela 5

$$\begin{cases} d_{ms} = (1 - 2^{-5}) d_{ms}(k-1) + 2^{-5} F[I(k)] \\ d_{ml} = (1 - 2^{-7}) d_{ml}(k-1) + 2^{-7} F[I(k)] \end{cases} \quad (24)$$

Os sinais dms e dml são então combinados a fim de estimar o parâmetro de velocidade $a_l(k)$, conforme a equação 25, em que

Tabela 5: Função discreta $F(I(k))$

$ I(k) $	7	6	5	4	3	2	1	0
$F[I(k)]$	7	3	1	1	1	0	0	0

Fonte: (ITU, 1996a)

$$\left\{ \begin{array}{ll} & \text{se } |d_{ms}(k) - d_{ml}(k)| \geq 2^{-3}d_{ml}(k) \\ & (1 - 2^{-4})a_p(k-1) + 2^{-3}, \quad \text{ou se } y(k) < 3 \\ & & \text{ou se } t_d(k) = 1 \\ & 1, \quad \text{se } t_r(k) = 1 \\ & (1 - 2^{-4})a_p(k-1) \quad \text{demais casos} \end{array} \right. \quad (25)$$

Os sinais diferença $dq(k)$ e reconstruído $sr(k)$ são operados num previsor adaptativo que gera um novo sinal estimado $se(k)$.

3.1.2 APLICAÇÃO DAS DEGRADAÇÕES/TRATAMENTOS CONTROLADOS

Foram utilizadas 10 condições de degradação de referência, aplicadas às primeiras 10 listas de reprodução, conforme resumido na Tabela 6. Os grupos submetidos à técnica indicada como "MNRU" correspondem ao método definido na ITU-T P.81, variando-se o parâmetro "Q" (equação 18), conforme descrito na coluna "Parâmetro Utilizado". O grupo submetido à técnica identificada como "G.711" corresponde ao sinal PCM, codificado com método definido na ITU-T G.711. Já o submetido à técnica identificada como "G.726" corresponde à codificação ADPCM definida na ITU G.726. A aplicação das codificações e da MNRU foi realizada através de rotinas do MATLAB, utilizando o código padronizado em linguagem C fornecido pela ITU e compilado através da ferramenta Microsoft Visual Studio 2015. A descrição teórica dos métodos utilizados pode ser encontrada na Seção 3.1.1.

O grupo 25 não recebeu nenhum tipo de tratamento após o pré-processamento, e também foi reservado para uso nas avaliações subjetivas e objetivas descritas, respectivamente, nos Capítulos 4 e 5.

Tabela 6: Condições de referência aplicadas

Identificação	Técnica	Parâmetro Utilizado
Grupo 1	MNRU (ITU-T P.810)	5
Grupo 2	MNRU (ITU-T P.810)	10
Grupo 3	MNRU (ITU-T P.810)	15
Grupo 4	MNRU (ITU-T P.810)	20
Grupo 5	MNRU (ITU-T P.810)	25
Grupo 6	MNRU (ITU-T P.810)	30
Grupo 7	MNRU (ITU-T P.810)	35
Grupo 8	MNRU (ITU-T P.810)	50
Grupo 9	PCM (ITU-T G.711)	64 kbits/s
Grupo 10	ADPCM (ITU-T G.726)	32 kbits/s
Grupo 25	Áudio puro	192 kHz, 24 bits

3.2 TESTES DAS COMUNICAÇÕES ATC

Além dos tratamentos de referência, foram previstas as condições de teste conforme a necessidade do estudo, incluindo os meios utilizados nas telecomunicações ATC. Os testes envolveram os principais equipamentos comumente utilizados nas comunicações de controle de tráfego aéreo, incluindo central de áudio, equipamentos de comunicação satelital, equipamentos de VHF, entre outros e foram elaborados com base em estatísticas de reclamações dos usuários do SMA, que apontaram problemas de qualidade de áudio. Os testes consistiram em reproduzir os grupos de frases a partir de consoles do ACC-CW e captados em aeronaves, outros órgãos ou posições operacionais e, também, reproduzir os sinais de áudio a partir das aeronaves e captar no ACC-CW, em diferentes posições.

A tabela 7 apresenta as condições de teste aplicadas aos grupo de frases elaborados em conformidade com o estabelecido na norma ITU-T P.800, apresentando na coluna "Fonte" o local em que foi aplicado o sinal, na coluna "Destino" o local em que o sinal foi gravado e na coluna "Observações" outras informações pertinentes. De maneira análoga, a tabela 8 apresenta as mesmas informações para os grupos que contém frases padronizadas de controle de tráfego aéreo.

A seguir, no item 3.2.1 serão apresentados os materiais e meios utilizados para a realização destes testes. Já no item 3.2.2 serão detalhadas as condições de teste a que os áudios gravados foram submetidos.

Tabela 7: Condições de teste aplicadas, grupo ITU

Identificação	Fonte	Destino	Observações
Grupo 11	ACC-CW	APP-CW	Terra-terra, sistema TF1
Grupo 12	ACC-CW	ACC-CW	Terra-terra, entre posições operacionais
Grupo 13	ACC-CW	Aeronave CAV	Tx DTCEA-CT , 127,5 MHz
Grupo 14	Aeronave CAV	ACC-CW	Rx DTCEA-CT, 127,5 MHz
Grupo 15	Aeronave CAV	ACC-CW	Tx DTCEA-CT, 127,5 MHz
Grupo 16	ACC-CW	Aeronave FL	Tx DTCEA-CT, 127,5 MHz
Grupo 17	ACC-CW	Aeronave FL	Tx MDI + CT, 127,5 MHz
Grupo 18	Aeronave FL	ACC-CW	Rx MDI, 127,5 MHz
Grupo 19	ACC-CW	Aeronave GEIV	Tx PCO + CAM, 133,6 MHz
Grupo 20	ACC-CW	Aeronave GEIV	Tx PCO + CAM + PIE, 133,6 MHz
Grupo 21	ACC-CW	Aeronave GEIV	Tx PCO + PIE, 133,6 MHz
Grupo 22	ACC-CW	Aeronave GEIV	Tx PCO+VARG, 125,35 MHz
Grupo 23	ACC-CW	Aeronave GEIV	Tx PCO+VARG+PIE, 125,35 MHz
Grupo 24	ACC-CW	Aeronave GEIV	Tx PCO+PIE, 125,35 MHz

Tabela 8: Condições de teste aplicadas, grupo ATC

Identificação	Fonte	Destino	Observações
Grupo 1A	ACC-CW	APP-CW	Terra-terra, sistema TF1
Grupo 2A	ACC-CW	ACC-CW	Terra-terra, entre posições operacionais
Grupo 3A	ACC-CW	Aeronave CAV	Tx DTCEA-CT , 127,5 MHz
Grupo 4A	Aeronave CAV	ACC-CW	Rx DTCEA-CT, 127,5 MHz
Grupo 5A	Aeronave CAV	ACC-CW	Tx FL+ MDI + CT, 127,5 MHz
Grupo 6A	ACC-CW	Aeronave FL	Tx DTCEA-CT, 127,5 MHz
Grupo 7A	ACC-CW	Aeronave GEIV	Tx PCO + CAM + PIE, 125,35MHz
Grupo 8A	ACC-CW	Aeronave GEIV	Tx PCO+VARG+PIE, 125,35 MHz

3.2.1 EQUIPAMENTOS PARA APLICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE TESTE

A reprodução de áudios, para todos os testes, foi realizada a partir de dois computadores pessoais portáteis, conectados à interfaces de áudio Behringer UCA222. Para os testes que envolveram aeronaves, que não dispunham de tomadas de força de 127 V, foi necessário também a realização de alimentação elétrica dos equipamentos. Para tal, foi adquirido um conjunto de inversor de frequência e elaborados cabos adaptadores de alimentação de maneira a possibilitar a alimentação do computador através de tomadas de 12 V em corrente contínua, disponíveis no avião. As características dos componentes e equipamentos utilizados podem ser encontrados no Anexo A. A Figura 20 apresenta o diagrama simplificado do sistema utilizado para gravações e reproduções durante as situações de teste.

As gravações, para os testes que envolveram o avião do GEIV (Embraer Legacy) foram realizadas utilizando-se o gravador de bordo que compõe a instrumentação daquele avião-laboratório.

Figura 20: Diagrama simplificado de reprodução/gravação de áudio utilizado nos testes

Verificando-se a Figura 20, observa-se que as interfaces de áudio UCA 222 foram conectadas às interfaces adaptadoras de maneira a injetar o sinal de áudio de referência ao sistema em estudo, através da console de operação do ACC ou através da aeronave, dependendo da condição de teste. Para testes cuja origem do sinal foi a console do ACC, o sinal foi injetado através de interfaces do tipo "Console SITTI". Para testes cuja origem do sinal foi a aeronave, os sinais foram injetados a partir da Interface do tipo "Aeronave", conectada à entrada de microfone da aeronave.

Já no caminho da recepção, nos testes cujo destino foi a aeronave, a chegada dos sinais ocorreu através de interface tipo "Aeronave", que foi ligada no conector da aeronave destinado ao uso de fones de ouvido. Já nas recepções realizadas nos órgãos operacionais, a chegada dos sinais foi realizada através de interfaces do tipo "SITTI", conectadas à saída de fone de ouvido da posição de operação.

As interfaces do tipo "Aeronave" e "SITTI" foram construídas especificamente para esta aplicação, e contam com componentes a fim de adequar os sinais de entrada e saída da interface UCA 222, respectivamente, para o uso nas conexões disponíveis nas aeronaves e nos postos de operação de controle de tráfego aéreo. Maiores detalhes sobre a construção dos adaptadores, com os circuitos implementados podem ser encontrados no Anexo A.

3.2.2 DETALHAMENTO DAS CONDIÇÕES DE TESTE

Conforme pode ser verificado nas tabelas 7 e 8, foram realizados 14 testes utilizando grupos de frases elaborados conforme as prescrições da ITU-T P.800 e 8 testes utilizando grupos de frases padronizadas de controle de tráfego aéreo. A seguir, serão detalhadas as condições de teste empregadas neste estudo. As condições climáticas encontradas durante os testes em voo, descritas em maiores detalhes no Anexo H, eram boas, com baixa nebulosidade.

Grupos 11 e 1A: a comunicação foi realizada entre uma console do ACC-CW, localizada no CINDACTA II e uma console do APP-CW, localizada no DTCEA, no Aeroporto Afonso Pena, Curitiba-PR. A comunicação foi realizada através do sistema de telefonia operacional denominado TF1, cujas especificações são definidas na ICA102-14. A Figura 21 apresenta um diagrama simplificado dos equipamentos e meios utilizados neste teste. O sinal de referência gravado em estúdio e pré-processado é reproduzido através da interface de áudio, injetado na console do operador através da interface tipo SITTI, localizada no ACC. No interior da console de operação é digitalizado e trafega internamente até a central, localizada na Sala Técnica de comunicações, em padrão *Plesiochronous digital hierarchy* (PDH), hierarquia E1. Na central, é novamente convertido em banda base analógico no padrão E&M, vai até o distribuidor geral (DG) e depois ao multiplexador, em que é novamente digitalizado no padrão E1. Em seguida, acessa equipamentos da operadora contratada, que utiliza um enlace de fibra ótica de capacidade de 2 Mbps. Ao chegar no bastidor da operadora no DTCEA-CT, passa pelo de-multiplexador, pelo DG e entra na central de áudio SITTI em padrão E&M. É novamente digitalizado e segue para a console do operador em padrão E1, é novamente convertido em banda base e enviado à interface de reprodução, onde é captado e gravado pelo sistema de gravação. Neste teste serão analisados os efeitos de degradações de áudio ocasionados pelas sucessivas conversões de sinal, da canalização empregada e dos equipamentos utilizados.

Figura 21: Diagrama simplificado de sistema sob teste, grupos G11 e G1A, entre ACC-CW e APP-CW

Grupos 12 e 2A: a comunicação foi realizada entre duas consoles do ACC-CW. O diagrama de blocos simplificado do roteamento do sinal é apresentado na Figura 22. Verifica-se que o sinal é injetado na console do operador, em que é digitalizado. Trafega até a central em padrão E1, e é roteado à console de destino. Nesta console, é novamente convertido em sinal

analogico e enviado para reprodução, que é captada por meio da interface de áudio tipo SITTI e encaminhada para o gravador. Neste teste, o número de conversões de sinal é mínimo sendo que o mesmo é digitalizado apenas uma vez.

Figura 22: Diagrama simplificado de sistema sob teste, grupos G12 e G2A, entre duas consoles do ACC-CW

Figura 23: Diagrama simplificado de sistema sob teste, grupos G13 e G3A, entre console do ACC-CW e Aeronave CARAVAN, na frequência 127,5 MHz, transmissão através do DTCEA-CT

Grupos 13 e 3A: a comunicação foi realizada entre uma console do ACC-CW e o avião Caravan, quando este se localizava nas coordenadas 25°24'02,4"S 49°14'10,2"W, em solo, na parte externa do hangar do CINDACTA II. O diagrama de blocos simplificado do roteamento do sinal é apresentado na Figura 23. Verifica-se que o sinal é injetado na console do operador, em que é digitalizado. Trafega até a central em padrão E1, é convertido para analógico e segue em padrão E&M ao DG. Entra no multiplexador, passa pelos equipamentos da operadora e segue ao DTCEA-CT através de enlace de fibra ótica contratado de capacidade de 2 Mbps. No DTCEA-CT é transformado em padrão analógico E&M, segue para o DG e trafega em banda base até a Casa de transmissão de VHF (KT-VHF), onde é modulado na frequência de 127,5 MHz e transmitido. O sinal é captado no transceptor da aeronave Caravan sintonizado na frequência mencionada. Conectado ao transceptor está a interface do tipo Aeronave, que encaminha o sinal

para gravação na interface de áudio. Nesta condição foram incluídos elementos de comunicação em radiofrequência que terão seu desempenho avaliado nos testes subjetivos.

Figura 24: Mapa de voo, condições de teste G16, G17, G18, G5A e G6A, identificando órbita e estações terrenas de VHF do DTCEA-CT e DTCEA-MDI

Fonte: Google Earth

Grupos 14, 15 e 4A: a comunicação foi realizada entre o avião Caravan, quando este se localizava nas coordenadas $25^{\circ}24'02,4''S$ $49^{\circ}14'10,2''W$, em solo, na parte externa do hangar do CINDACTA II, e uma console do ACC-CW. O diagrama de blocos simplificado do roteamento do sinal é apresentado na Figura 25. Verifica-se que o sinal é injetado na console do avião, e é transmitido em AM na frequência 127,5 MHz. O sinal é captado pela estação terrena do DTCEA-CT, localizada no Aeroporto Afonso Pena, em Curitiba - PR e é demodulado. É transmitido em banda base até o DG, é digitalizado e enviado ao CINDACTA II através de enlace de fibra ótica contratado. Na sede do CINDACTA II é convertido em sinal analógico novamente em formato E&M, entra no DG e é distribuído à central de áudio, onde é novamente digitalizado. É roteado até a console do ACC digitalmente por meio de padrão E1, onde então é novamente convertido em banda base para reprodução, sendo captado pela interface do tipo SITT e enviado ao gravador.

Grupos 16 e 6A: Da mesma maneira que nos grupos 13 e 3A, a comunicação foi

Figura 25: Diagrama simplificado de sistema sob teste, grupos G14, G15 e G4A, entre Aeronave CARAVAN e console do ACC, na frequência 127,5 MHz, transmissão através do DTCEA-CT

realizada entre uma console do ACC-CW e o avião Caravan. O diagrama de blocos simplificado do roteamento do sinal é o mesmo já apresentado na Figura 23, os sinais seguem o mesmo caminho e foi utilizada a mesma frequência de comunicação VHF. A diferença é que a aeronave Caravan estava orbitando uma área de raio aproximado de 30 km sobre as coordenadas 26° 25' 31,88" S, 49° 06' 00,25" W, em nível 90 (9.000 pés, ou cerca de 2.700 m) enquanto recebia as transmissões do DTCEA-CT. A Figura 24 apresenta o mapa de voo e posicionamento da estação transmissora do DTCEA-CT.

Grupo 17: Da mesma maneira que nos grupos 13 e 3A, a comunicação foi realizada entre uma console do ACC-CW e o avião Caravan. O diagrama de blocos simplificado do roteamento do sinal para este teste é apresentado na Figura 26, os sinais seguem o mesmo caminho mencionado no teste dos grupos 13 e 3A até o DTCEA-CT e foi utilizada a mesma frequência de comunicação VHF. Paralelamente, o sinal foi repetido, digitalizado e transmitido ao DTCEA-MDI (Morro da Igreja, Urubici - SC) por meio de canalização satelital Telesat, administrada pelo DECEA, operando em banda C (faixa de 4 a 8 GHz). Nesta localidade, o sinal é convertido para banda analógica no padrão E&M e levado à KT-VHF para transmissão. Também de maneira semelhante ao teste dos grupos 16 e 6A, a aeronave Caravan estava orbitando uma área próxima à Florianópolis enquanto recebia, simultaneamente, as transmissões do DTCEA-CT e DTCEA-MDI. A Figura 24 apresenta o mapa de voo e posicionamento da estação transmissora do DTCEA-CT e DTCEA-MDI.

Figura 26: Diagrama simplificado de sistema sob teste, grupo G17, entre ACC-CW e aeronave Caravan

Grupos 18 e 5A: Neste teste, a comunicação foi realizada no sentido da aeronave para uma console do ACC. A aeronave sobrevoava a área indicada na Figura 24 enquanto transmitia os sinais referentes aos grupos de frases G18 e G5A, modulando na frequência 127,5 MHz. Conforme diagrama simplificado da Figura 27, o sinal foi recebido pela estação terrena de VHF do DTCEA-MDI, digitalizado no sistema Telesat, transmitido até o CINDACTA II por enlace satelital. Na sala técnica do CINDACTA II foi novamente convertido em sinal analógico E&M e encaminhado, através do DG, para a central de áudio SITTII. Na central o sinal é novamente digitalizado, convertido no padrão E1 e roteado à respectiva console, onde é convertido novamente para banda base e captado pela interface do tipo SITTII para envio ao gravador.

Para os demais testes (G19, G20, G21, G22, G23, G24, G7A e G8A) foi utilizada aeronave do Grupamento de Ensaios em Voo do DECEA (GEIV), com teto operacional mais elevado para atingir níveis de voo superiores a 100 (10.000 pés, ou 3.048 m). A aeronave escolhida voou o caminho ABC identificado na Figura 28, em que o segmento AB mede 220 km, o segmento BC 165 km e CA 100 km. Foi utilizada uma órbita maior do que nos testes realizados pela aeronave Caravan tendo em vista que o avião do GEIV possui velocidade de cruzeiro bem superior a do outro avião, de aproximadamente 800 km/h. O nível de voo escolhido foi o 250 (25.000 pés, ou 7.620 m) e os pontos A, B e C possuem, respectivamente, as seguintes coordenadas: (21°11'60"S, 44°28'0"W), (21°29'18,40"S, 42°18'24,11"W) e (21°49'32,64"S, 43°50'41,19"W).

nhados até o sistema Telesat em dois *transponders* distintos. Nas estações terrenas de Pico do Couto - RJ (PCO) e Campos-RJ (CAM) os sinais foram recebidos, transformados novamente em banda base e encaminhados através do DG para as KT-VHF para serem transmitidos. Os sinais foram captados simultaneamente pelo transceptor da aeronave do GEIV e gravados.

Figura 29: Diagrama simplificado de sistema sob teste, grupo G19, entre console do ACC e aeronave do GEIV. Transmissão através das estações VHF de Pico do Couto e Campos, frequência 133,6 MHz

Grupos 20 e 7A: O diagrama simplificado de sistema deste teste é mostrado na Figura 30. De maneira geral, é muito semelhante ao utilizado no teste do G19, com a diferença que o sinal é replicado para uma terceira estação, localizada em Piedade - MG (PIE). A comunicação também foi realizada na frequência 133,6 MHz utilizando canalização satelital administrada pelo DECEA. Neste teste buscou-se verificar os eventuais efeitos de degradação de qualidade de áudio no processo de clímax (sobreposição). Buscou-se, de maneira proposital, o sobrevôo da aeronave numa área com intercepção das áreas de influência das estações de PCO, PIE e CAM.

Grupo 21: O teste foi realizado conforme diagrama simplificado mostrado na Figura 31, muito semelhante aos testes com os grupos 19, 20 e 7A. A diferença em relação aos experimentos conduzidos nos outros experimentos é que a transmissão ocorreu apenas pelas estações terrenas de PCO e PIE.

Grupo 22: De maneira análoga aos testes anteriores, a transmissão foi realizada entre

Figura 30: Diagrama simplificado de sistema sob teste, grupos G20 e G5A, entre console do ACC e aeronave do GEIV. Transmissão através das estações VHF de Pico do Couto, Campos e Piedade, frequência 133,6 MHz

Figura 31: Diagrama simplificado de sistema sob teste, grupo G21, entre console do ACC e aeronave do GEIV. Transmissão através das estações VHF de Pico do Couto e Piedade, frequência 133,6 MHz

o console do ACC e a aeronave do GEIV. Este teste seguiu o diagrama simplificado mostrado na Figura 32. A diferença em relação aos testes conduzidos nos outros experimentos é que a transmissão ocorreu apenas pelas estações terrenas de PCO e VARG, e foi utilizada a frequência 125,35 MHz.

Figura 32: Diagrama simplificado de sistema sob teste, grupo G22, entre console do ACC e aeronave do GEIV. Transmissão através das estações VHF de Pico do Couto e Varginha, frequência 125,35 MHz

Grupos 23 e 8A: Também para estes testes, a transmissão foi realizada entre o console do ACC e a aeronave do GEIV. Para a execução, seguiu-se o diagrama simplificado mostrado na Figura 33. Foi utilizada a frequência 125,35 MHz. As diferenças em relação aos testes conduzidos nos outros experimentos é que a transmissão ocorreu pelas estações terrenas de PCO, VARG e PIE. No caso desta frequência, para a estação terrena de Piedade, a ligação de dados é realizada por meio de operadora contratada, que tem a flexibilidade de utilizar o meio que desejar, desde que atenda às especificações mínimas contratados.

Grupo 24: A transmissão foi realizada entre o console do ACC e a aeronave do GEIV conforme o diagrama simplificado mostrado na Figura 34. Foi utilizada a frequência 125,35 MHz. As diferenças em relação aos testes conduzidos nos outros experimentos é que a transmissão ocorreu pelas estações terrenas de PCO e PIE.

Figura 33: Diagrama simplificado de sistema sob teste, grupos G23 e G8A, entre console do ACC e aeronave do GEIV. Transmissão através das estações VHF de Pico do Couto, Varginha e Piedade, frequência 125,35 MHz

Figura 34: Diagrama simplificado de sistema sob teste, grupo G24, entre console do ACC e aeronave do GEIV. Transmissão através das estações VHF de Pico do Couto e Piedade, frequência 125,35 MHz

3.2.3 EXECUÇÃO DOS TESTES EM VÔO

Cabe destacar que, embora não sejam procedimentos detalhados nesta dissertação por não serem relacionados ao tema, a realização dos testes com aeronaves consumiu recursos con-

sideráveis e teve essencial apoio de uma equipe grande de profissionais especializados da Aeronáutica. A realização dos ensaios de voo necessitou, resumidamente, das seguintes atividades:

1. Aprovação de necessidade e agendamento de aeronave junto ao GEIV, oficializado através do Comando do CINDACTA II àquele órgão, para os testes que envolveram nível de voo superior ao 100;
2. Elaboração de planejamento do experimento: com identificação dos pontos de interesse para teste, frequências a serem testadas, equipamentos a serem utilizados, reserva de horas de voo, escala de tripulação. Essas atividades foram realizadas em conjunto com a equipe do GEIV para os vãos de nível elevados (acima do 100) e com a equipe da CAV do CINDACTA II para os vãos executados com a aeronave Caravan;
3. Elaboração de plano de voo pelos pilotos do CINDACTA II e GEIV e submissão à aprovação, respectivamente, dos Comandantes do CINDACTA II e do GEIV;
4. Disponibilização, em tempo integral, de técnicos para operação dos equipamentos de telecomunicações do CINDACTA II e de controladores de voo para acompanhamento e coordenações junto aos pilotos das aeronaves;
5. Elaboração de metodologia e disponibilização de infraestrutura de telecomunicações para propiciar comunicação constante com a aeronave em teste;
6. Coordenação prévia do tráfego aéreo local pela equipe de controladores de tráfego aéreo do ACC-CW, para possibilitar a execução dos testes. As seguintes operações necessitaram ser realizadas: desvio do tráfego existente dos caminhos em que eram realizadas as órbitas, com coordenações constantes junto aos pilotos e alterações dos planos de voo em curso, desocupação das frequências que foram testadas, coordenando junto às aeronaves o uso de frequências alternativas para cada setor;

4 AVALIAÇÃO SUBJETIVA

A identificação da qualidade de sinais de voz é considerada uma análise subjetiva, pois depende do julgamento de indivíduos (usuários) de um determinado serviço. Um indicador muito popular utilizado para indicar a qualidade de mídias de áudio e vídeo é o MOS, que consiste na média de índices de opinião de diferentes pessoas sobre um determinado estímulo de áudio e/ou vídeo.

O MOS mostra-se um método adequado para o monitoramento da qualidade de sistemas de telecomunicações e para levantamento de dados para treinamento e validação de métricas objetivas (STREIJL et al., 2016) sendo amplamente utilizado por operadores de telecomunicações, emissoras, entre outros. Entretanto, apresenta limitações que devem ser consideradas tanto no planejamento dos experimentos, quanto na interpretação dos resultados.

Primeiramente, pode-se citar que o MOS é, em sua essência, um valor estatístico, que consiste na média de uma distribuição de um número finito de avaliações individuais e que, por isso, não é um indicador preciso. Outros indicadores que também descrevem características desta distribuição (como desvio padrão, intervalo de confiança, curtose, etc.) também podem, portanto, ser considerados na análise dos resultados. Outra crítica ao MOS é que ele assume homogeneidade dos participantes do experimento, tendo em vista que o seu resultado é fornecido pela média aritmética entre as avaliações (XU et al., 2011). Outras limitações incluem o fato da opinião dos participantes poder ser afetada pelas expectativas iniciais do usuário, pela faixa de degradações apresentadas durante as sessões, e por fatores humanos, como humor, diferenças de julgamento, entre outros (STREIJL et al., 2016). Além disso, apresenta pouca informação sobre a causa do problema, tornando a detecção de possíveis falhas difícil.

Quanto aos métodos de teste, podem ser empregados diferentes possibilidades como o *Absolute category rating* (ACR), *Double-stimulus impairment scale* (DSIS), *Double-stimulus continuous quality scale* (DSCQS), entre outros (STREIJL et al., 2016). No ACR, por exemplo, a avaliação pelos participantes é realizada numa escala discreta de 1 a 5, após uma única exposição do sinal de teste. Já nos DSIS e DSCQS, são apresentados aos avaliadores os sinais

degradados e o não degradados e a avaliação é realizada numa escala contínua de 1 a 5 para o DSCQS e numa escala de degradações para o DSIS.

A escolha dos métodos de teste depende dos objetivos do experimento, das limitações de tempo disponível, entre outros. Estudos como o de Tominaga et al. mostram altos índices de correlação (linear e de postos) entre ensaios realizados utilizando estes métodos de teste citados, apresentando resultados entre 0,96 e 0,99 (TOMINAGA et al., 2010). Este estudo também mostra que o tempo de avaliação é geralmente menor quando o ACR é utilizado.

Neste capítulo será realizada uma breve descrição do estado da arte da avaliação subjetiva, uma descrição do método escolhido neste trabalho, sua aplicação e os resultados obtidos.

4.1 ESTADO DA ARTE

Os testes de análise subjetiva utilizados para levantamento de qualidade de voz consistem na aplicação de trechos de áudio submetidos a determinado tratamento a um grupo de pessoas que avaliam a qualidade do sinal em termos de qualidade ou inteligibilidade.

Os métodos de análise subjetiva, embora dispendiosos em termos de tempo e custo, continuam sendo a maneira mais confiável de encontrar o MOS. Os estudos recentes pesquisados como (MÖLLER, 2016), (JASSIM;; ZILANY, 2015) , (SALEHI, 2016), (ANDERSON AVILA; BENJAMIN, 2016) e outros, que incluem pesquisas de métodos de análise objetiva de qualidade de áudio, utilizam os resultados de testes subjetivos tanto para treinamento quanto para validação dos resultados obtidos por meio de análises objetivas. Os próprios métodos de análise objetiva normalizados pela ITU-T, como o P.563 (ITU, 2004), são validados utilizando bases de dados provenientes de análise subjetiva.

Dentre as metodologias utilizadas para a realização destes experimentos, um método há bastante tempo consolidado e que é amplamente empregado nos estudos atuais é o MOS, definido na norma ITU-T P.800 (ITU, 1996b), cuja principal desvantagem é o elevado custo das pesquisas de opinião (SUN; IFEACHOR, 2002). Este método, desenvolvido inicialmente para testar o desempenho de sistemas telefônicos (que opera em banda estreita) balizou os experimentos realizados nos estudos citados no parágrafo anterior e foi estendido, inclusive, a outros tipos de uso, como avaliação de sistemas que operam com áudio de alta fidelidade, em aplicações de multimídia em dispositivos eletrônicos móveis, comunicações analógicas ou digitais e até em equipamentos de auxiliares de audição (FALK et al., 2015), por apresentar método de avaliação que independe do tipo de problema sofrido pelo áudio e ampla repetitividade. Desde a sua criação, em 1996, este padrão mostrou capacidade de avaliar sinais sujeitos

a diferentes problemas como perdas, erros de transmissão, ruídos, eco, incorreções de tempo de propagação, entre outros.

4.2 REQUISITOS NORMATIVOS

Pelos motivos apontados, a metodologia descrita na ITU-T P.800 foi escolhida para a realização do experimento subjetivo necessário a esta pesquisa. O procedimento definido nesta norma consiste na gravação de frases aleatórias de curta duração em ambiente e em situações controladas. Em seguida esses áudios devem ser organizados em listas, formando grupos de frases, e cada lista submetida a um tipo de tratamento, sendo algumas listas tratadas com métodos de referência e outras submetidas ao sistema sob estudo. Todos estes procedimentos foram realizados e estão detalhados nos Capítulos 2 e 3.

Os sinais são então gravados e submetidos à avaliação de pessoas não treinadas que deverão realizar a classificação dos áudios de voz segundo um parâmetro de qualidade. Foi escolhido o método de ensaio do ACR por apresentar o menor tempo de execução, em que os participantes são expostos uma única vez somente aos sinais degradados, e avaliam numa escala discreta de 1 a 5, em que 5 representa qualidade "excelente" e 1 qualidade "péssima". Esta seção apresenta os requisitos de preparação e execução do experimento subjetivo, conforme normatizado na ITU-T P.800.

4.2.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

Após a realização das gravações dos áudios em estúdio, pré-processamentos, degradações controladas e testes, deve ser elaborado um planejamento do experimento. Este planejamento deverá levar em consideração as seguintes premissas:

- o tempo de avaliação dos sinais de áudio deverá preferencialmente ser inferior a 20 minutos, e nunca superior a 40 minutos, a fim de se evitar a fadiga do sujeito humano;
- deverá ser previsto o número de sessões de avaliação e o número de pessoas de maneira que o tempo de avaliação máximo não seja desrespeitado;
- deverá ser levado em consideração efeitos de cansaço dos participantes; e
- deverá ser levado em consideração efeito de sugestão da ordem de apresentação.

A limitação do tempo de avaliação deve ser utilizado para calcular o número de frases que poderão ser analisadas numa determinada sessão bem como estimar o número de

sessões previstas. Embora a norma ITU-T P.800 cite que deverá haver tempo de silêncio "adequado" entre cada frase e o período de avaliação, nenhum parâmetro objetivo é citado. Entretanto, durante a pesquisa bibliográfica foi encontrada a recomendação ITU-T P.807 (ITU, 2016), norma recente (2016) que trata de avaliação subjetiva de inteligibilidade de sinais de voz, que recomenda que o tempo de teste e de pausas seja aproximadamente igual. Tendo em vista a similaridade das normatizações, este parâmetro pode ser considerado adequado para aplicações de análise subjetiva de qualidade de áudio.

4.2.2 REQUISITOS DE EXECUÇÃO

Neste item são apresentados os requisitos da norma ITU-T P.800 com relação o processo de execução dos testes. Quanto aos requisitos físicos do ambiente de reprodução dos áudios, a norma define as mesmas características do ambiente de gravação, verificados no item 2.2, ou seja: possuir volume na faixa de 30 a 120 m^3 , ruído inferior a 30 dBA e tempo de reverberação RT60 (definido pela ISO 3382-2) inferior a 500 ms.

Quanto ao sistema de reprodução, a norma define que o mesmo deverá possuir resposta em frequência e sensibilidade compatível com a aplicação, e o nível de reprodução deve ser ajustado por meio do tom de calibração gerado na etapa de preparação (conforme item 2.4.3). A referida norma não cita um nível de reprodução considerado adequado, entretanto, utilizando-se como parâmetro a base de dados contida na ITU-T P.23 (ITU, 1998), foi utilizado 79 dB de pressão sonora para a execução dos testes. Este nível equivalente a uma conversa em voz alta em ambiente comercial ruidoso.

Quanto aos requisitos pessoais, são definidas as seguintes restrições:

- os participantes não podem ter participado de testes subjetivos de áudio no período mínimo de 6 meses;
- não podem conhecer a lista de frases; e
- não podem trabalhar em área de pesquisa relacionada a qualidade de áudio.

Quanto às instruções fornecidas aos participantes, deverão ser fornecidas por escrito e verbalmente, se necessário. Quaisquer informações específicas somente poderão ser fornecidas após o término da avaliação.

4.3 PREPARAÇÃO DO EXPERIMENTO SUBJETIVO

Após todas as etapas das sessões de gravação, pré-processamentos e aplicação das condições de referência e de teste, foi necessária a preparação do experimento subjetivo, realizado em conformidade com o item 4.2.1. A organização do experimento levou em consideração, primeiramente, as limitações de tempo das sessões. Foi considerado um tempo médio de 2,5 segundos por frase, com pausa de 2 segundos entre cada frase e um tempo de avaliação de 7 segundos. Considerando que são 31 grupos para análise, e que cada grupo é composto por 2 frases, chegou-se num tempo de teste de 7 minutos e 14 segundos. Considerando o tempo para leitura de instruções de 5 minutos e a realização da sessão de treinamento, com cerca de 2 minutos, chegou-se ao tempo de experimento de aproximadamente 15 minutos, abaixo, portanto, da recomendação máxima recomendável de 20 minutos.

O experimento foi planejado de maneira que:

- Cada grupo, representando um tipo de degradação/tratamento apareceu uma vez em cada sessão (arranjo de quadrados latinos);
- De maneira a considerar o efeito de ordem de apresentação/cansaço, cada tipo de degradação/ tratamento foi apresentado numa ordem aleatória diferente em cada sessão;
- Foram distribuídas o mesmo número de frases em português e em inglês em cada sessão;
- Foram distribuídas igualmente nas sessões as vozes femininas e masculinas.

As listas de reprodução das sessões subjetivas, com o nome dos arquivos, tipos de tratamentos, identificações dos locutores e tratamentos podem ser encontradas no Anexo J. Foram incluídos trechos de treinamento correspondentes aos 4 primeiros grupos de reprodução de outra lista, de maneira que dentro de cada sessão não houve repetição das frases. Assim, a lista de reprodução 1 utilizou os quatro primeiros grupos sequenciais da lista 2 como treinamento. A lista de reprodução 2 utilizou os 4 primeiros da lista 3; a lista 3 os 4 primeiros da lista 4; e a lista 4 os 4 primeiros da lista 1.

Foi então utilizado o *software* de edição proprietário PROTOOLS para consolidar os arquivos das listas de reprodução, sendo introduzidos após a reprodução de cada frase de mesma identificação sequencial a pausa de 2 segundos, e uma pausa de 7 segundos ao término, para a realização da avaliação e anotação nos formulários.

Os arquivos consolidados, LISTA01.wav, LISTA 02.wav, LISTA 03.wav e LISTA

04.wav possuem, respectivamente, as durações de: 10 min 15 segundos, 10 min 02 segundos, 10 min 01 segundos e 10 min 09 segundos.

4.3.1 DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO SUBJETIVO E INTERVENÇÕES NOS PARTICIPANTES

A pesquisa consistiu na análise subjetiva de qualidade de sinais de áudio de voz por meio de avaliadores humanos. Foi utilizada uma amostra com 32 avaliadores. Estes componentes pertencem ao assim denominado "Grupo 2 - Avaliação" que realizou a classificação dos sinais de áudio em termos de qualidade, numa escala de 1 a 5, em que 5 indica alta qualidade e 1, qualidade ruim. Os sinais de referência foram obtidos a partir de gravações de frases simples com 4 vozes masculinas e 4 femininas, em português e em inglês (pessoas pertencentes ao "Grupo 1 - Locução"). Os avaliadores, pertencentes ao Grupo 2 foram divididos em 4 subgrupos, e cada subgrupo analisou uma sessão de áudio diferente, de maneira a balancear os efeitos de atenção/ordem de apresentação. Os resultados obtidos são as avaliações emitidas por cada participante, que compiladas forneceram o MOS dos sinais de áudio.

Da mesma maneira que na gravação dos áudios, cuja metodologia adotada é descrita na seção 2.3.2, os procedimentos do experimento subjetivo também foram avaliados pelo CEP, que registrou aprovação no Parecer 2.163.376 de 07 de julho de 2017. Também foram elaborados os TCLE e TCUISV para o grupo de participantes do ensaio subjetivo, apresentando a pesquisa, indicando os objetivos, riscos, benefícios, critérios de inclusão e exclusão, direitos dos participantes, entre outras informações relevantes.

A seguir será apresentada a maneira com que foram coletados os dados do experimento para o grupo de indivíduos que participou da avaliação subjetiva:

1. Entrega dos TLCE e TCUISV a 40 sujeitos selecionados ¹, conforme apresentando um roteiro das atividades de avaliação que seriam desenvolvidas, tempos de sessão, riscos envolvidos, apresentação da pesquisa, entre outras informações;
2. Esclarecimento de eventuais dúvidas e assinatura do TLCE/TCUISV por parte dos sujeitos interessados em participar da pesquisa. Não foram fornecidas informações detalhadas sobre o procedimento, conforme exigência da norma ITU P.800 utilizada como referência para esta avaliação. É importante observar, entretanto, que os esclarecimentos, quando demandados pelos participantes, foram fornecidos ao término do experimento. Nesta data, foi agendada a sessão de avaliação de áudios junto a cada participante;

¹ Foram pré-selecionadas 40 pessoas, embora a avaliação tenha sido realizada por apenas 32.

3. Realização de questionário de participação em 32 sujeitos selecionados, em papel, na mesma data da realização da sessão de avaliação, conforme modelo (Anexo -Documento 6b) apresentando: a) as condições de realização da avaliação subjetiva; b) solicitando a concordância dos mesmos em participar da avaliação; c) Solicitando ao sujeito informar se possui fluência nos idiomas português e inglês; d) solicitando se o sujeito fez o consumo de bebidas alcoólicas ou outras substâncias que podem prejudicar a atenção; e) solicitado se a pessoa selecionada não foi afastada do serviço de controle de tráfego aéreo na data da realização da sessão.

Os candidatos selecionados que: concordaram com os termos da avaliação; confirmaram fluência nos idiomas português e inglês; confirmaram que não realizaram consumo de substâncias que prejudiquem a atenção, incluindo álcool; não estavam afastados da atividade de controle de tráfego aéreo, foram liberados para a participação na avaliação.

4. Os sujeitos que atenderam às condições mencionadas no item acima realizaram o preenchimento de questionário de avaliação de qualidade de áudio, conforme modelo. Este questionário foi preenchido por 32 militares, sendo 13 homens e 19 mulheres de faixa etária entre 20 e 41 anos. Cada pessoa avaliou a qualidade de áudio na medida em que os áudios foram reproduzidos.

No total foram realizadas 4 sessões, cada uma com 8 pessoas, totalizando 32 pessoas, sendo 19 mulheres e 13 homens, de idades entre 21 e 38 anos. Cada sessão contou com um conjunto de duas frases representantes de cada tipo de degradação. As frases foram dispostas de maneira aleatória. Foram balanceados de maneira a possuírem o mesmo número de frases em português e em inglês e o mesmo número de vozes femininas e masculinas. Conforme recomendações da ITU-T P.800, antes de cada sessão de reprodução foi aplicado o tom de calibração gravado previamente, obtendo, no decibelímetro, medida de 75 dBA SPL. Foi realizada prévia do experimento, em que foi monitorado o nível sonoro durante o teste. Em nenhuma ocasião o decibelímetro registrou valor superior a 85 dBA.

4.4 RESULTADOS DO EXPERIMENTO SUBJETIVO

Após a realização dos experimentos, as avaliações indicadas por cada um dos entrevistados foram compiladas, sendo organizadas nos grupos que representavam cada uma das condições de teste. Dessa maneira, cada conjunto de duas frases de cada grupo recebeu 8 avaliações, e, como cada grupo possuía 4 conjuntos de frases, um total de 32 avaliações para cada tratamento. Foi calculado também o desvio padrão entre as notas dentro de cada grupo

e a distribuição em quartis para cada teste. Os resultados do experimento, apresentados nesta seção, foram utilizados como referência para avaliação dos métodos de análise objetiva aplicados, conforme descrito no item 5.3.

Conforme detalhado no item 4.3, as listas de reprodução de cada sessão foram reproduzidas após a acomodação dos participantes, leituras das instruções e treinamento. Foi registrado o tempo de duração das sessões de reprodução, obtendo tempo inferior a 16 minutos nas 4 sessões.

Os valores registrados na avaliação foram transcritos para uma planilha e organizados de acordo com a identificação de cada uma das frases. Foram então calculados a média das avaliações de cada grupo, o desvio padrão e o intervalo de confiança da dos valores levantados, considerando uma distribuição tipo T de Student e nível de confiança de 95 %. Os indicadores do MOS obtidos a partir da realização do experimento subjetivo são mostrados na Tabela 9. Pode-se perceber que os maiores valores de 4,969 foram obtidos em duas condições: no MNRU com parâmetro Q de 50 (Grupo 8) e no caso de áudio puro (Grupo 25), muito próximo do valor máximo de 5. Em ambas as situações foram obtidas 31 avaliações 5 (que corresponde à "Excelente", a nota máxima) e uma avaliação 4 (que corresponde a "Bom").

Verifica-se que o pior valor de MOS obtido, de 1,531, foi o do grupo 20, que representa a situação de transmissão simultânea das estações PCO, CAM e PIE na frequência 133,6 MHz, através do sistema Telesat, conforme condições definidas no item 3.2.2. A condição do grupo 23 também atingiu um valor de MOS baixo, de 1,563, e refere-se à situação de transmissão simultânea através das estações de PIE, VARG e PCO na frequência 125,35 MHz, com transmissões através do Telesat para as localidades de PCO e VARG e de operadora contratada para o sítio de PIE. Esses valores correspondem a qualidade de áudio entre "péssimo" e "ruim".

A Figura 38 apresenta um gráfico ilustrando os valores de MOS para cada grupo/condição apresentado na Tabela 9. As barras de erros indicam o intervalo de confiança da medida, considerando uma distribuição T de Student e nível de confiança de 95 %, limitado aos extremos da escala que vai de 1 a 5. Verifica-se uma tendência crescente do MOS para os grupos submetidos ao tratamento pela MNRU, na medida em que o parâmetro Q aumenta de 5 para 50. Os grupos submetidos às codificações G.711 e G.726 também apresentam valor de MOS elevado, superior a 4. Para os sinais submetidos aos meios de comunicação de ATC, somente as comunicações entre órgãos operacionais e entre consoles (grupos 11, 12, 1A e 2A) apresentam MOS superior a 4, que equivale à qualidade boa.

Para as condições de teste que utilizaram transmissão de radio-frequência, e desconsiderando os grupos de frases ATC, foi obtida uma média de MOS de 2,267, o que corresponde a

Tabela 9: Valores de MOS obtidos no experimento subjetivo por condição. Houve falha de comunicação durante os testes dos grupos 15 e 6A e os áudios foram descartados.

Identificação	Condição	Valor MOS	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança
Grupo 25	Áudio puro 192 kHz 24 bits	4,969	0,177	0,064
Grupo 8	MNRU Q=50	4,969	0,177	0,064
Grupo 7	MNRU Q=35	4,938	0,246	0,089
Grupo 6	MNRU Q=30	4,875	0,336	0,121
Grupo 10	G.726 32 kbit/s	4,813	0,397	0,143
Grupo 9	G.711 64 kbit/s	4,500	0,672	0,242
Grupo 5	MNRU Q=25	4,469	0,718	0,259
Grupo 2A	ACC_ACC	4,438	0,669	0,241
Grupo 1A	ACC_APP_TF1	4,375	0,554	0,200
Grupo 4	MNRU Q=20	4,375	0,707	0,255
Grupo 12	ACC_ACC	4,281	0,634	0,229
Grupo 11	ACC_APP_TF1	4,031	0,595	0,214
Grupo 3	MNRU Q=15	3,625	0,793	0,286
Grupo 2	MNRU Q=10	3,094	0,777	0,280
Grupo 8A	PCO_VARG_PIE_12535	2,969	0,740	0,267
Grupo 5A	ACC_FL_CT_MDI	2,938	0,619	0,223
Grupo 19	ACC_PCO_CAM_1336	2,906	0,641	0,231
Grupo 3A	ACC_CAV_1275	2,844	0,847	0,305
Grupo 18	FL_ACC_CT_MDI	2,844	0,723	0,261
Grupo 22	PCO_VARG_12535	2,656	0,602	0,217
Grupo 17	ACC_FL_MDI_CT	2,594	1,132	0,408
Grupo 1	MNRU Q=5	2,438	0,801	0,289
Grupo 24	PCO_PIE_12535	2,406	0,911	0,328
Grupo 4A	CAV_ACC_1275	2,344	0,602	0,217
Grupo 16	ACC_FL_CT	2,344	0,787	0,284
Grupo 13	ACC_CAV_1275	2,125	0,707	0,255
Grupo 21	PCO_PIE_1336	2,031	0,967	0,349
Grupo 14	CAV_ACC_1275	1,938	0,759	0,274
Grupo 7A	PCO_CAM_PIE_1336	1,844	0,767	0,276
Grupo 23	PCO_VARG_PIE_12535	1,563	0,564	0,203
Grupo 20	PCO_CAM_PIE_1336	1,531	0,718	0,259

qualidade de áudio entre ruim e regular. Para condições de clímax (transmissão simultânea) entre duas estações foi obtida média de MOS de 2,469, enquanto que, para três estações percebe-se sensível degradação da qualidade, com o MOS atingindo 1,896, valor este considerado entre ruim e péssimo. Os valores de MOS, agrupados em diferentes condições de utilização dos meios técnicos de ATC e por tipo de frases utilizadas (padrão da ITU-T P.800 ou frases típicas de ATC) são apresentados na Tabela 10.

A análise desta tabela também permite visualizar que, de maneira geral, o MOS percebido pelos avaliadores é superior quando são utilizadas frases típicas de ATC. Esta característica

Figura 35: Valores de MOS por grupo/condição, conforme experimento subjetivo. As barras de erro têm o comprimento do intervalo de confiança, considerando distribuição T de Student e nível de confiança de 95 %.

fica ainda mais evidente quando analisamos o gráfico da figura 39. Neste sentido, é possível verificar a importância do uso de vocabulários padronizados nas aplicações de ATC, quanto à

Figura 36: Valores de MOS por grupo/condição, conforme experimento subjetivo. As barras de erro têm o comprimento do intervalo de confiança, considerando distribuição T de Student e nível de confiança de 95 %.

inteligibilidade das instruções passadas e, portanto, à segurança do controle de tráfego. Nenhum teste utilizou frases tipo ATC para a transmissão através de duas estações simultâneas.

Outra observação importante se refere ao grupo de avaliadores selecionados. Embora tenha se tomado o cuidado de seguir todos os requisitos normativos da ITU-T P.800, conforme observado na pesquisa de Zaballos et al. (ZABALLOS et al., 2016), os controladores de voo apresentam, em geral, maior habilidade de compreensão de fala em ambientes ruidosos em relação a não controladores. Este comportamento pode ter influenciado nos resultados.

Tabela 10: Valores médios de MOS em diferentes situações usando meios técnicos de ATC

Condições	MOS (grupos ITU)	MOS (grupos ATC)
Grupos com comunicação sem radio-frequência	4,156	4,407
Grupos com comunicação com radio-frequência	2,267	2,588
Grupos com transmissão em 2 estações de VHF	2,469	N/D
Grupos com transmissão em 3 estações de VHF	1,896	2,584

Figura 37: Valores de MOS por grupo/condição, conforme experimento subjetivo. As barras de erro têm o comprimento do intervalo de confiança, considerando distribuição T de Student e nível de confiança de 95 %.

Figura 38: Valores de MOS por grupo/condição, conforme experimento subjetivo. As barras de erro têm o comprimento do intervalo de confiança, considerando distribuição T de Student e nível de confiança de 95 %.

Figura 39: Comparação do MOS entre grupos de frases ATC e ITU submetidos às mesmas condições. As barras de erros representam o intervalo de confiança, considerando distribuição T de Student e nível de confiança de 95 %.

5 AVALIAÇÃO OBJETIVA

Outra possibilidade para análise de qualidade de áudio e voz é o uso de métodos objetivos, que utilizam modelos matemáticos para buscar prever a qualidade de voz percebida por um usuário humano. Essa técnica apresenta baixo custo, por não necessitar das pesquisas de opinião e pode ser utilizada para o monitoramento da qualidade do serviço prestado sob demanda ou até mesmo em tempo real, caso a implantação tenha um tempo de processamento compatível. Dentre os métodos disponíveis, há os métodos com referência (também chamados de intrusivos), que necessitam do sinal original para comparar com o sinal degradado, e sem referência (também denominados não intrusivos), que independem do sinal original não degradado para fornecerem um valor previsto de MOS. Como em outros serviços de telecomunicações, na solução tecnológica utilizada no SMA, o sinal de referência pode ser de difícil obtenção, conforme verificamos na Seção 1.1.2, motivo pelo qual, este trabalho também buscou avaliar o desempenho de um método sem referência.

Para o caso dos métodos intrusivos, que necessitam do sinal original, antes de ser injetado nos meios de comunicação sob teste, para comparar com o sinal extraído após a aplicação no meio em estudo, o mais utilizado comercialmente é o PESQ, definido pela ITU-T P.862, que apresenta alta correlação com o MOS obtido em experimentos subjetivos (PAPASRATORN et al., 2013). Este método consolidado foi validado nas mais diferentes aplicações de telecomunicações, conseguindo prever com grande grau de acerto, o MOS de sinais de áudio originados de diferentes tipos de degradações, inclusive para problemas ocorridos em redes de comutação de pacotes (MRVOVA; POCTA, 2013). Atualmente é também utilizado na validação de métodos alternativos de análise de qualidade de áudio, como em (ROZHON et al., 2016). Este método utiliza parâmetros extraídos de indicadores de desempenho da rede aplicados numa rede neural para, então, estimar o MOS dos circuitos VOIP.

Já para os métodos sem referência, a técnica considerada padrão dos métodos de análise de qualidade de áudio para sinais de telecomunicações é o definido na norma ITU-T P.563 (ITU, 2004), conforme (SONI; PATIL, 2016) e (GRANCHAROV DAVID Y. ZHAO, 2006), e suas variantes são utilizadas nos mais modernos algoritmos para aplicações específicas

de qualidade de voz, como na análise de qualidade de áudio de voz sintetizada eletronicamente (HINTERLEITNER, 2017). Este método se baseia na identificação de atributos de distorção no sinal de entrada através de três blocos funcionais principais, correspondentes à diferentes classes de distorções. Esses blocos são: análise/modelagem do trato vocal e voz não natural, análise de ruído / qualidade básica e análise de interrupções e cortes temporais do sinal.

Quanto às limitações das métricas objetivas, tendo em vista que estes são ajustados e validados de acordo com resultados obtidos em ensaios subjetivos, pode-se afirmar que são afetados pelos mesmos problemas e apresentam limitações semelhantes aos métodos subjetivos, conforme descrito no início do Capítulo 4.

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica de dois métodos objetivos aplicados, sendo um com referência (PESQ) e outro sem referência (SESQ). Em seguida, os métodos objetivos serão aplicados nos mesmos sinais degradados apresentados aos avaliadores humanos do experimento subjetivo, e os resultados obtidos pelos métodos objetivos comparados com o MOS.

5.1 MÉTODOS OBJETIVOS COM REFERÊNCIA

Conforme exposto anteriormente, os métodos objetivos com referência são aqueles que necessitam do sinal original, a fim de realizar comparações com o sinal degradado e estimar um valor de MOS. Conforme verificamos, o método com referência adotado neste estudo foi o definido pela norma ITU-T P.862, também chamado de PESQ, que terá sua teoria de funcionamento descrita brevemente nesta seção.

O primeiro passo executado pelo algoritmo do PESQ é um pré-processamento a fim de ajustar o nível do sinal degradado ($Y(t)$) e fazer o seu alinhamento no domínio do tempo em relação ao sinal de referência ($X(t)$). Estas funções são realizadas pelo bloco de pré-processamento e alinhamento, cujo diagrama simplificado é apresentado na Figura 40.

O ganho do sistema em teste é a princípio desconhecido, o que faz com que seja necessária a realização do alinhamento de ganho do sinal degradado em relação ao sinal original. O algoritmo do PESQ assume, então, que o nível original do sinal é 79 dB SPL. As seguintes ações são tomadas:

- Os sinais original e degradado são filtrados. O filtro utilizado bloqueia componentes abaixo de 250 Hz, apresenta resposta plana até a frequência de 2.000 Hz. Acima de 2.000 Hz, o filtro possui atenuação linear, passando pelos seguintes pontos: 2.500 Hz, -5 dB,

Figura 40: Rotina de sincronização utilizada pelo PESQ, identificando os principais componentes

Fonte: (ITU, 2001c)

3.000 Hz, -10 dB, 3.150 Hz, -20 dB, 3.500 Hz, -50 dB e acima de 4.000 Hz apresenta atenuação de 50 dB;

- São calculadas as médias quadráticas dos sinais original e degradado, filtrados de acordo com o descrito no item anterior;
- São calculados valores de ganho para os sinais original e degradado com base no resultado da operação anterior, resultando nos sinais multiplicados $X_s(t)$ e $Y_s(t)$.

Em seguida, no bloco denominado IRS, o algoritmo aplica um modelo especificado na ITU-T P.830 que busca considerar os efeitos da resposta em frequência usual encontrada em sistemas telefônicos (ITU, 1996d). O filtro mencionado tem a sua resposta representada pela Figura 41. O algoritmo implementa o filtro através da transformada rápida de Fourier (FFT), que é aplicada tanto ao sinal original quanto ao degradado. A operação de atenuação/ganho é realizada no domínio da frequência e, então, é aplicada a transformada FFT inversa para

retornar o sinal ao domínio do tempo. Os sinais de saída desta etapa XIRSS e YIRSS são, respectivamente, os sinais original e degradado filtrados pelo filtro IRS.

Figura 41: Resposta em frequência do filtro IRS utilizado para representar a resposta em frequência de equipamentos telefônicos, conforme padrão ITU-T P.830

A próxima etapa é a realização do cálculo de valores de atraso no sinal que são utilizados pelo modelo matemático que estima o valor do MOS. As seguintes atividades são realizadas nos blocos de detecção de alinhamento:

- estimativa de valor de atraso entre o sinal original ($X(t)$) e degradado ($Y(t)$), para cada envelope de sinal, aplicado a toda a extensão do sinal;
- divisão do sinal original em um número de seções, denominadas "expressões";
- estimativa de valor de atraso entre o sinal original e degradado, para cada envelope de sinal, aplicado à cada "expressão";
- ajuste fino baseado na análise de correlação e do histograma de valores de atraso em relação às amostras próximas;
- divisão de "expressões" e realinhamento dos intervalos de tempo para pesquisar por variações de tempos de atraso durante a fala;

Os envelopes de sinal $X_{es}(t)$ e $Y_{es}(t)$ são calculados a partir dos sinais de saída do filtro IRS e são definidos de acordo com a Equação 28, em que $E(k)$ é a energia de um quadro de duração de 4 ms, E_{limiar} é o limiar do sinal de fala definido por um detector de voz. Os valores de atrasos brutos, com resolução de 4 ms, são determinados com base nos valores de correlação cruzada entre o sinal original e degradado.

$$Env = \log \left[\max \left(\frac{E(k)}{E_{limiar}}, 1 \right) \right] \quad (28)$$

Em seguida é realizado um cálculo de "ajuste fino" a fim de calcular, com precisão de uma amostra, os valores de atraso de tempo. Este ajuste fino é realizado através de uma sequência de operações estatísticas que incluem:

- cálculo, em quadros de 64 ms em janelas de Hann com 75 % de sobreposição, da correlação cruzada entre o sinal degradado e original após a realização do alinhamento baseado no método de envelopes;
- o valor máximo de correlação, elevado à potência 0,125, é utilizada como medida do nível de confiança do alinhamento de cada quadro. O índice do valor máximo indica a estimativa de atraso do quadro;
- é calculado o histograma das estimativas de atraso, ponderado pela medida de grau de confiança. A análise deste histograma, combinado com a estimativa de atraso da amostra anterior fornece o valor de atraso do quadro.

Ao término destas operações, é estimado o valor de atraso associado a cada quadro. Este valor, junto a seu intervalo de confiança, é armazenado para utilização pelo modelo perceptual. Este, por sua vez, é o responsável por fornecer o valor estimado do MOS para o modelo, através da comparação com o sinal original. Seu funcionamento, de maneira simplificada, é descrita a seguir:

- Aplicação de fatores de escala nos sinais para condicionamento / processamentos futuros;
- Identificar e descartar da análise os trechos de silêncio localizados no início e fim do intervalo de áudio sob análise;
- Mapeamento dos sinais original e degradado no domínio da frequência, através da aplicação de FFT, com sobreposição de 50%. Esta operação busca imitar o comportamento do ouvido humano. É calculado o espectro de potência (soma quadrática da parte real e imaginária de cada componente da FFT), e os valores armazenados, tanto para o sinal de referência quanto para o degradado. Os valores de fase são descartados, pois não são utilizados na análise do PESQ;
- Aplicação de fatores de escala aos mapas de FFT a fim de considerar a característica de sensibilidade do ouvido humano (escala Bark);

- Realização de cálculos de compensação de filtragem, através de cálculo de relações entre os espectros de potência dos sinais de referência e degradado, e compensação de variações bruscas no nível de sinal. Estas compensações buscam identificar problema de filtragem excessiva e variações bruscas de nível, que podem ser prejudiciais para a qualidade de áudio;
- Cálculo de densidades de intensidade, para cada janela de 32 ms, através da escala de nível de Zwicker, para cada nível de frequência, conforme a Equação 29, em que n é a identificação da janela, P_0 e S_l são fatores de escala e $P(f)_n$ as densidades de potência com as devidas compensações mencionadas no item anterior. O fator de potência γ é o valor de potência de Zwicker, que leva em consideração efeitos psicoacústicos;

$$L(f)_n = S_l \cdot \left(\frac{P_0(f)}{0,5} \right)^\gamma \cdot \left[\left(0,5 + 0,5 \cdot \frac{P(f)_n}{P_0(f)} \right)^\gamma - 1 \right] \quad (29)$$

- Realização de cálculo de densidade de perturbações do sinal de áudio $D(f)_n$. Para tal é realizada o cálculo do sinal diferença, entre as densidades de intensidade do sinal degradado e sinal de referência. Quando esta diferença tem valor positivo, componentes de ruído foram adicionados ao sinal original. Quando o sinal é negativo, componentes foram omitidos do sinal original. Os valores de diferença são comparados com um limiar inferior, de maneira que apenas os valores maiores são considerados na análise;
- Determinação de fatores de assimetria através da relação matemática entre as densidades de potência do sinal original e sinal degradado, elevado à potência 1,2. Em seguida é realizada multiplicação dos valores de densidade de perturbação do sinal de áudio pelo fator de assimetria (quando este for no mínimo 3 e limitado ao máximo de 12), determinando o parâmetro de densidade de perturbações de sinal de áudio com fator assimétrico $DA(f)_n$. Este parâmetro de densidade de perturbações busca a encontrar possíveis artefatos de áudio provenientes do uso de CODEC, por exemplo.
- É realizada a soma das densidades de perturbações $D(f)_n$ e densidade de perturbações assimétricas $DA(f)_n$ para cada banda de frequência, com ênfase nas perturbações que ocorrem em trechos mais silenciosos do áudio, encontrando os valores de distúrbio de quadros D_n e DA_n , limitando-se o valor a 45. Para este cálculo são consideradas as seguintes situações: os valores de D_n e DA_n são zerados em quadros que apresentem grande variação negativa de atraso; quadros consecutivos com valores de D_n ou DA_n superiores a 45 recebem tratamento adicional, tendo em vista que em observação empírica, raramente representam perturbações e frequentemente erro de cálculo no algoritmo de detecção de

atraso; consideração de fator de detecção de sinal de voz presente;

- Realizadas as compensações, o PESQ é computado através da combinação linear entre os valores $D(f)_n$ e $DA(f)_n$.

5.2 MÉTODOS OBJETIVOS SEM REFERÊNCIA

Várias técnicas de análise de qualidade de sinais de voz por métodos sem referência foram propostas, através de diferentes métodos. Vai desde a identificação de parâmetros como presença de eco, atrasos de sinal, ruído e nível de som, como em (ITU, 1993c). (AU, 1998) utilizou estudos prévios para definir espectrogramas de sinais de voz classificando-os em espectrogramas de boa qualidade ou má qualidade. Para tal, propôs método que divide o sinal em blocos de 30 ms, calcula o espectrograma e correlaciona a qualidade do sinal à faixa dinâmica e variância do espectro nos blocos, atingindo correlação de até 0.65 com o MOS. Outros métodos, como em (GRAY M P HOLLIER, 2000) baseiam-se na modelagem do trato vocal humano e na identificação de blocos em que há violação do modelo matemático. Outras alternativas se baseiam na construção de uma sinal de referência artificial com base no sinal distorcido de origem e então utilizar um método comparativo de análise com sinal de referência, como em (FALK QINGFENG XU, 2005).

Vários desses métodos foram e são incorporados no método da ITU T-P.563, também conhecido como SESQ, na medida em que são desenvolvidos (ITU, 2004), recomendação essa até pouco tempo considerada o estado da arte dos métodos de análise de qualidade de voz sem referência (GRANCHAROV DAVID Y. ZHAO, 2006). A análise do padrão em tela identifica atributos de distorção no sinal de entrada através de três blocos funcionais principais, correspondentes à diferentes classes de distorções. Esses blocos são: análise/modelagem do trato vocal e voz não natural, análise de ruído / qualidade básica e análise de interrupções e cortes temporais do sinal. Para tal, o método prevê um pré-processamento do sinal que envolve a identificação dos trechos de voz do sinal, filtragem inicial, cálculo do nível médio do sinal e normalização do mesmo, cálculo de variação de nível de sinal entre sentenças, cálculo bloco a bloco da variação da potência do sinal, e extração do tom de voz através de método iterativo de auto-correlação. Os resultados deste pré-processamento são então utilizados nos respectivos blocos funcionais. A Figura 42 apresenta o diagrama de blocos simplificado do processamento de voz realizado pelo método descrito no padrão ITU-T P.563.

O bloco de análise/modelagem do trato vocal e voz não natural computa coeficientes de predição linear do sinal (LPC) e realiza a análise cepstral do mesmo. Aplica então uma série

Figura 42: Diagrama de blocos de processamento de voz simplificado definido pela ITU-TP563

de estatísticas de ordem superior, incluindo estimativa de assimetria e curtose dos conjuntos de coeficientes resultantes da análise cepstral e da LPC. Esta etapa de análise atribui um indicativo de qualidade com base nestes fatores. Em seguida, o bloco modela o trato vocal humano como um conjunto de tubos de diferentes comprimentos e com secções transversais variantes no tempo. A partir do sinal de entrada, o modelo estima as áreas das secções transversais e aplica as restrições do modelo físico a fim de encontrar variações não naturais. O bloco ainda faz uma análise de sinais de periodicidades não naturais, como as presentes em problemas de voz "metalizada" calculando a correlação cruzada entre blocos adjacentes e identificando repetições do sinal de entrada. Há ainda outra etapa que identifica presença de sons / bipes não naturais, através da análise de espectro de potência.

O bloco de análise ruído / qualidade básica avalia a influência das distorções na percepção com base num modelo psicoacústico complexo que também leva em consideração as características do trato vocal humano, características como o limiar de audição, densidade de potência do tom de voz, entre outros. Este bloco também realiza o cálculo da relação sinal-ruído, identificação de ruído estático e ruídos de fundo, clareza espectral (em que é calculada, para cada bloco, a diferença entre a energia dos harmônicos do tom de voz e os sinais não múltiplos), identificação de ruídos multiplicativos através de análise estatística do espectro (cálculo de envelope do sinal, densidade espectral do sinal).

O bloco de análise de interrupções realiza uma análise de perfil de nível do sinal de entrada, identifica e calcula o tempo de sinal "mudo", partindo do pressuposto de que não podem ocorrer pontos de atenuação abrupta do sinal. Após a realização de todas essas análises,

o método classifica o principal problema de qualidade do sinal dentro de uma hierarquia pré-definida. Os problemas são priorizados na seguinte ordem: baixa relação sinal/ruído, ocorrência de interrupções de voz / atenuações abruptas, distorções de sinal identificadas na análise cepstral / LPC, voz não natural ou "metalizada", outros problemas de voz não natural.

Para cada problema principal é realizada uma combinação linear diferente entre os vários fatores calculados no algoritmo, chegando-se a um coeficiente de qualidade intermediário. Este, por sua vez, é combinado linearmente com outros 11 coeficientes que representam indicadores de qualidades básicos do sinal, como ruído, nível de sinal, repetições de blocos e outros parâmetros calculados na etapa de pré-processamento. Essa última combinação retorna um valor de nota objetiva para o sinal de voz sob análise, conseguindo correlação superior à 0,80 em relação ao MOS (ITU, 2004) para determinadas situações de teste. A principal vantagem do método, entretanto, é o seu elevado custo computacional. Simulações atestam que a análise de um trecho de áudio pode levar mais do que 50% da duração do mesmo, utilizando implementação em linguagem C e *hardware* computacional convencional (HOLUB MICHAEL STREET, 2006; GRANCHAROV DAVID Y. ZHAO, 2006).

5.3 APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE ANÁLISE OBJETIVA

Os sinais gravados e submetidos às diferentes degradações/tratamentos foram então submetidos a três métodos de análise objetiva de qualidade de áudio. Os métodos escolhidos foram o PESQ, o SESQ, cujo funcionamento e fundamentos teóricos foram descritos no início do capítulo. O PESQ, como verificado, é um método com referência, enquanto o SESQ não usa sinal de referência.

Os códigos fonte do PESQ e SESQ foram obtidos, em linguagem C, junto à ITU e compilados com o Microsoft Visual Studio 2015, gerando arquivos executável em ambiente Windows/DOS. Foi elaborada uma rotina no MATLAB para automatizar a chamada de arquivos e registrar os resultados de MOS previstos por cada um dos três métodos, e os resultados apresentados no item 5.4.

5.3.1 INDICADORES DE CORRELAÇÃO

O grau de proximidade entre os valores previstos pelos métodos objetivos utilizados e os dados obtidos no experimento subjetivo foi então avaliado através dos coeficientes de correlação.

As correlações foram calculadas sobre os valores médios obtidos de cada condição,

utilizando os coeficientes de correlação de Pearson e o coeficiente de correlação de postos de Spearman. A partir da equação 30 é calculada a correlação de Pearson em que x_i é o valor de MOS obtido no experimento subjetivo para a condição i , $\bar{x}$ é a média dos valores de MOS obtidos no experimento subjetivo para a condição (média dos valores de x_i), y_i o valor previsto pelo algoritmo para cada condição i e $\bar{y}$ a média dos valores previstos pelo algoritmo para a condição (média dos valores de y_i).

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (30)$$

Já o coeficiente de correlação de postos de Spearman, que avalia a monotonicidade entre os conjuntos analisados, pode ser encontrado por meio da expressão 31 em que γ_i e ρ_i são, respectivamente, os postos da medida objetiva e subjetiva de uma amostra de áudio i . Já $\bar{\gamma}$ e $\bar{\rho}$ são as médias dos postos objetivos e subjetivos, respectivamente. Ambos os coeficientes de correlação estão confinados no intervalo $[-1,1]$.

$$r = \frac{\sum(\rho_i - \bar{\rho})(\gamma_i - \bar{\gamma})}{\sqrt{\sum(\rho_i - \bar{\rho})^2 \sum(\gamma_i - \bar{\gamma})^2}} \quad (31)$$

5.4 RESULTADOS DE DESEMPENHO DOS MÉTODOS OBJETIVOS

Os métodos de análise objetiva do PESQ, SESQ foram aplicados aos sinais degradados, conforme descrito no item 5.3. Os resultados da aplicação destes métodos, para cada grupo, são exibido nas Figuras 43, 44 e 45. Nas figuras os resultados do PESQ, SESQ e MOS estão representados através de quartis, e o valor médio obtido é o valor central plotado em vermelho.

Observa-se que o PESQ apresentou, em geral, resultados menos dispersos do que o MOS obtido do experimento subjetivo e valores obtidos pelo SESQ. Percebe-se que há situações em que cada um dos métodos objetivos utilizados apresentou resultados mais próximos ao MOS real.

A tabela 11 apresenta os valores médios previstos de MOS para cada situação, de acordo com cada método empregado.

A Figura 46 apresenta os resultados do PESQ e os resultados obtidos no MOS nos Experimentos Subjetivos. Pode-se verificar graficamente que há acentuada correlação entre os valores do PESQ e os obtidos pelo Experimento Subjetivo, principalmente nos grupos que envolveram os processamentos de referência. As maiores diferenças foram verificadas nos grupos

Tabela 11: Valores de MOS previstos obtidos para cada condição para cada método objetivo utilizado

Identificação	Condição	MOS	PESQ	SESQ
Grupo 25	Áudio puro 192 kHz 24 bits	4,969	4,998	4,598
Grupo 8	MNRU Q=50	4,969	4,884	3,620
Grupo 7	MNRU Q=35	4,938	4,843	3,088
Grupo 6	MNRU Q=30	4,875	4,722	3,440
Grupo 10	G.726 32 kbit/s	4,813	4,620	3,745
Grupo 9	G.711 64 kbit/s	4,500	4,725	3,524
Grupo 5	MNRU Q=25	4,469	4,542	3,114
Grupo 2A	ACC_ACC	4,438	3,716	3,941
Grupo 1A	ACC_APP_TF1	4,375	3,673	3,694
Grupo 4	MNRU Q=20	4,375	4,0075	3,670
Grupo 12	ACC_ACC	4,281	3,868	4,143
Grupo 11	ACC_APP_TF1	4,031	3,571	2,726
Grupo 3	MNRU Q=15	3,625	3,663	3,055
Grupo 2	MNRU Q=10	3,094	2,823	2,462
Grupo 8A	PCO_VARG_PIE_12535	2,969	2,130	2,007
Grupo 5A	ACC_FL_CT_MDI	2,938	2,048	4,078
Grupo 19	ACC_PCO_CAM_1336	2,906	2,335	1,641
Grupo 3A	ACC_CAV_1275	2,844	2,067	2,069
Grupo 18	FL_ACC_CT_MDI	2,844	2,780	2,739
Grupo 22	PCO_VARG_12535	2,656	2,453	1,963
Grupo 17	ACC_FL_MDI_CT	2,594	2,354	3,483
Grupo 1	MNRU Q=5	2,438	2,438	2,192
Grupo 24	PCO_PIE_12535	2,406	2,262	1,689
Grupo 4A	CAV_ACC_1275	2,344	2,008	2,899
Grupo 16	ACC_FL_CT	2,344	2,107	2,523
Grupo 13	ACC_CAV_1275	2,125	2,236	2,388
Grupo 21	PCO_PIE_1336	2,031	2,126	1,704
Grupo 14	CAV_ACC_1275	1,938	2,123	4,060
Grupo 7A	PCO_CAM_PIE_1336	1,844	1,835	1,692
Grupo 23	PCO_VARG_PIE_12535	1,563	1,869	1,967
Grupo 20	PCO_CAM_PIE_1336	1,531	1,897	1,579

de frases de controle de tráfego aéreo, que correspondem aos grupos G1A a G8A. Na maioria dos casos registrados, o valor do MOS obtido foi superior ao obtido pelo PESQ em cerca de 21%.

Já em relação ao SESQ, percebe-se, através da Figura 47 que há correlação entre os valores obtidos do MOS e os valores previstos pelo SESQ. Entretanto, observa-se situações de erros superiores a 1,5 na escala MOS, como nos casos dos grupos G14 e G7. Em 4 situações de teste o valor de MOS previsto pelo SESQ foi superior aos valores encontrados no teste subjetivo, correspondendo aos grupos G14, G17, G4A e G5A.

A Figura 48 apresenta uma representação gráfica do SESQ e do PESQ em relação ao MOS obtido nos experimentos subjetivos para todos os grupos do experimento subjetivo, com exceção dos que envolviam vocabulários próprios de ATC. Fica mais perceptível a dispersão de resultados do SESQ e a maior correlação do PESQ com o MOS.

Já na Figura 49 foram retirados os grupos com degradações de referência (MNRU e codificações) e foram isolados somente os grupos padronizados do experimento subjetivo que continham situações de comunicações ATC. Percebe-se para o PESQ, também neste caso, uma quantidade significativa de pontos plotados sobre ou próximo à reta, indicando correspondência quase exata entre o MOS e o PESQ. Estes casos são mais raros no caso do SESQ.

Na Figura 50, foram isolados somente os grupos que continham vocabulário ATC. Percebe-se, como esperado, menor correlação entre o MOS observado pelos usuários e o previsto pelos algoritmos.

Por fim, foram calculados os índices de correlação de Pearson e Speerman entre os valores de MOS obtidos para cada conjunto de frases nos experimentos subjetivos e os métodos objetivos aplicados e os valores são apresentados na Tabela 12. Verifica-se que, o PESQ atingiu correlação superior a 0,90 pelos dois índices avaliados, apresentando, portanto, alta linearidade e monotonia na predição do MOS, quando avaliado o conjunto que continha todos os grupos (Figura 48). Já o SESQ, método sem referência apresentou os dois índices ligeiramente superiores a 0,50 para as mesmas condições.

Já quando avaliado somente os grupos que continham frases padronizadas de ATC, situação que corresponde ao conjunto da Figura 50 o PESQ apresentou correlações próximas a 0,84 (Pearson) e 0,74(Spearman) em relação ao MOS e, o SESQ, os respectivos valores de 0,564 e 0,584. A menor correlação do PESQ com a percepção de MOS dos usuários, para este caso, pode ser atribuída ao fato dos usuários conhecerem o vocabulário padronizado da aviação utilizado nas frases.

Tabela 12: Correlação entre MOS e valores previstos do PESQ e SESQ - Todos os grupos

Técnica	Tipo de Frases	Correlação de Pearson (ρ)	Correlação de Spearman (r_s)
PESQ	ITU	0,922	0,906
SESQ	ITU	0,514	0,522
PESQ	ATC	0,841	0,743
SESQ	ATC	0,564	0,584

Quando foram descartados as degradações de referência (MNRU e codificações), sendo avaliadas somente as situações de teste que simularam situações comuns de comunicação ATC (correspondentes à Figura 49), os índices de correlação de Pearson e Spearman do PESQ foram

de, respectivamente, 0,89 e 0,84, conforme observado na Tabela 13. Já o SESQ obteve os mesmos índices de, respectivamente, 0,29 e 0,28, evidenciando baixo desempenho na previsão do MOS para as situações testadas.

Tabela 13: Correlação entre MOS e valores previstos do PESQ e SESQ - Somente grupos de Testes

Técnica	Método	Correlação de Pearson (ρ)	Correlação de Spearman (r_s)
PESQ	ITU	0,891	0,839
SESQ	ITU	0,288	0,285

Figura 43: Distribuição, em quartis, dos resultados de aplicação do PESQ e SESQ em relação ao MOS - grupos G1 a G16

Figura 44: Distribuição, em quartis, dos resultados de aplicação do PESQ e SESQ em relação ao MOS - grupos G17 a G25

Figura 45: Distribuição, em quartis, dos resultados de aplicação do PESQ e SESQ em relação ao MOS - grupos G1A a G8A

Figura 46: Comparação do PESQ com MOS obtido nos Experimentos Subjetivos. Os grupos terminados em "A" apresentam frases ATC, e não cumprem, portanto, as recomendações da ITU. As barras de erros representam o intervalo de confiança, considerando distribuição T de Student e nível de confiança de 95 %.

Figura 47: Comparação do SESQ com MOS obtido nos Experimentos Subjetivos. Os grupos terminados em "A" apresentam frases ATC, e não cumprem, portanto, as recomendações da ITU. As barras de erros representam o intervalo de confiança, considerando distribuição T de Student e nível de confiança de 95 %.

Figura 48: Representação gráfica do PESQ e SESQ em relação ao MOS, para todos os grupos padronizados (sem vocabulário ATC)

Figura 49: Representação gráfica do PESQ e SESQ em relação ao MOS, para todos os grupos com comunicações ATC (sem degradações de referência, somente frases padronizadas pela ITU)

Figura 50: Representação gráfica do PESQ e SESQ em relação ao MOS, para todos os grupos com vocabulário ATC

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Sendo essencial a inteligibilidade das comunicações aeronáuticas para as atividades de controle do espaço aéreo, esta dissertação se propôs a analisar os problemas de qualidade de áudio nestes meios no âmbito do CINDACTA II. Para tal, foi realizado um estudo subjetivo de qualidade de áudio nos padrões definidos pela ITU-T P.800, que englobou desde a avaliação de salas de gravação em estúdio profissional, produção e gravação de material de áudio de referência em alta fidelidade em estúdio, nos idiomas inglês e português, por 8 pessoas, submissão de sinais a degradações controladas e aos meios de comunicação utilizados nas comunicações aeronáuticas, até a realização da avaliação, por sujeitos humanos, do MOS em cada uma das situações pesquisadas. Com a finalidade de estudos adicionais de percepção de qualidade de áudio, foram gravadas e avaliadas também frases padronizadas de controle de tráfego aéreo.

As condições testadas representaram diferentes cenários de comunicação empregados comumente no controle de tráfego aéreo, como comunicações terra-terra, terra-ar e ar-terra. Foi testada a comunicação entre consoles do ACC-CW, entre dois órgãos ATC, e realizados diferentes testes em voo. Estes percorreram aproximadamente 3.500 km em áreas e níveis de voo que apresentaram reclamações por parte dos usuários e envolveram 7 estações terrenas de VHF, diferentes canalizações e simulações de situações de clímax (transmissão simultânea) através 2 e 3 estações terrenas. A realização dos testes necessitou da montagem de adaptadores, sistemas de aquisição de dados, desenvolvimento de metodologias específicas, além de extensa coordenação dos setores operacionais do CINDACTA II e colaboração de diversas pessoas.

Foi então organizado um experimento subjetivo em que foram utilizados seres humanos para a avaliação do MOS de cada um dos sinais de áudio. O experimento, que contou com a participação de 32 pessoas, foi realizado em conformidade com a normatização de referência e contou com a orientação e aprovação tanto do CEP da UTFPR quanto do DECEA. O experimento foi realizado em estúdio profissional em 4 sessões em que sujeitos, previamente selecionados por meio de entrevista, puderam avaliar os sinais de áudio. Os dados foram compilados a fim de traduzir os parâmetros de qualidade de áudio para cada situação de teste, estabelecendo uma base de dados de valores de MOS de qualidade de áudio de problemas e interferências

comuns nas comunicações de ATC.

A análise dos dados levantados no experimento subjetivo permitiu constatar que os principais problemas de qualidade de áudio nas telecomunicações aeronáuticas estão relacionados à transmissão em VHF, sendo que nestas situações os valores de MOS obtidos é inferior a 2,50, representando qualidade de áudio entre ruim e regular. Nenhum dos testes que envolveram comunicações por radiofrequência (condições terra-ar e ar-terra) obtiveram MOS superior a 3,0, que corresponderia à qualidade regular.

As comunicações terra-terra, tanto entre órgãos operacionais quanto entre consoles apresentou MOS superior a 4, correspondendo à qualidade entre boa e excelente. Para situações de comunicação terra-ar com clímax entre duas estações, em que o sinal foi transmitido simultaneamente por duas estações terrenas e captado da aeronave, a média do MOS foi de 2,47 e quando foram usadas três estações o índice médio foi de 1,90, valor que corresponde à qualidade entre ruim e péssima. Dentre as situações avaliadas, a que apresentou maior degradação de áudio foi no clímax entre as estações de PCO, CAM e PIE, na frequência 133,6 MHz, que registrou valor de MOS de 1,531. Os diferentes meios de canalização empregados (meios contratados ou satelitais operados pelo DECEA) tiveram pouca influência nos valores de MOS obtidos.

Outro fato interessante de ser observado foi que quanto os sujeitos entrevistados foram submetidos a frases padronizadas de controle de tráfego aéreo, os valores de MOS obtidos para as mesmas condições de teste foram, em média, 0,42 superiores ao MOS das frases aleatórias recomendadas pela ITU-T P.800. E, felizmente, para a segurança da aviação geral, a situação que apresentou maior melhora de percepção foi a de clímax com 3 estações, que passou de 1,90 para 2,58, passando de um índice entre péssimo e ruim para entre ruim e regular. Constata-se que as frases conhecidas exigem menor esforço do ouvinte para serem compreendidas. Ressalta-se, portanto, a importância do uso de vocabulários padronizados nas comunicações aeronáuticas.

Outra atividade desenvolvida neste trabalho foi a aplicação de métodos objetivos de qualidade de áudio aos sinais degradados a fim de verificar seu desempenho na identificação da qualidade percebida pelo usuário. Tendo em mãos a base de dados desenvolvida, foram testados os métodos do PESQ (ITU-T P.562) e do SESQ (ITU-T P.863), sendo o primeiro um método com referência e o segundo sem referência e ambos amplamente utilizados comercialmente.

Foi verificado que o PESQ apresentou ótimo desempenho na avaliação das degradações ensaiadas, conseguindo prever, com boa precisão, os valores de MOS percebidos pelos usuários. O PESQ obteve coeficiente de correlação de Pearson superior a 0,92 e coeficiente de correlação de postos de Spearman superior a 0,90 quando analisados todas as condições de teste e degrada-

ções controladas. Já o SESQ, embora a literatura apresente situações bons resultados sob determinadas condições de degradação, apresentou os coeficientes de Pearson e Spearman de, respectivamente, 0,51 e 0,52, correspondendo à correlação moderada entre o MOS e o valor previsto pelo método. Porém, quando foram analisadas isoladamente as degradações dos sistemas de telecomunicações aeronáuticas, somente o PESQ obteve desempenho adequado, registrando índices de correlação de Pearson e de Spearman de, respectivamente, 0,89 e 0,84. O SESQ registrou os índices de 0,29 e 0,28, indicando correlação muito fraca.

Dessa maneira, os objetivos descritos na seção 1.3 foram atingidos, destacando-se a criação da base de dados de MOS e de sinais de referência e degradados, procedimentos demorados e custosos, que poderão ser empregados em pesquisas posteriores. Outrossim, foi encontrado um método de análise objetiva com referência normatizado, o PESQ, que traduz, com boa fidelidade, a qualidade de voz percebida pelo usuário. Este, juntamente com a base de dados levantada, pode ser utilizado para os seguintes trabalhos futuros sugeridos na seção 6.1.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

São sugeridos os seguintes trabalhos futuros:

- Utilizando a base de dados de MOS elaborada nesta pesquisa: no desenvolvimento e na validação de um métodos objetivo de qualidade de áudio sem referência, que consiga prever com maior precisão o MOS de sinais submetidos às degradações dos meios de telecomunicações de ATC;
- implementar solução baseada no PESQ para avaliar periodicamente as condições de qualidade de áudio em diferentes situações de comunicação entre os ATCO e aeronaves e avaliar o histórico de degradações, principalmente as que apresentam tendência de longo prazo;
- Como verificado, embora o uso de vocabulário padronizado seja um atenuante às degradações de áudio, há boa margem de melhora da qualidade de áudio nas telecomunicações aeronáuticas. Por este motivo, sugere-se, também, como desenvolvimento futuro, o estudo de melhorias que permitam a melhora da qualidade de áudio como: avaliação de maneiras de reduzir as degradações de radio-frequência, seja pela re-divisão do espaço aéreo, por melhor aproveitamento do espectro, viabilização da redução das condições de clímax; implementação de técnicas de melhoramento de voz; e por fim, avaliação de meios técnicos alternativos de comunicação poderiam ser realizados a fim de melhorar a percepção de qualidade por parte do usuário.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON AVILA; BENJAMIN, C. S. G. S. D. T. F. Performance comparison of intrusive and non-intrusive instrumental quality measures for enhanced speech. **Acoustic Signal Enhancement (IWAENC), 2016 IEEE International Workshop on**, 2016.
- ASCHEBRUCK N.; MARTINI, P. G. M. Characterisation and modelling of voice traffic in first responder networks. **Local Computer Networks**, p. 295–302, 2007.
- AU, K. L. O. A novel output-based objective speech quality measure for wireless communication. **Fourth International Conference on Signal Processing Proceedings**, v. 1, p. 666–669, 1998.
- BOOM, E. S. D. 2017.
- BRADY, P. T. A technique for investigating on-off patterns of speech. **The Bell System Technical Journal**, v. 44, p. 1–22, 1965.
- BRASIL. Convenção sobre aviação civil internacional. **Diário Oficial da União**, Decreto Nº 21.713, de 27 de agosto de 1947, Agosto 1946.
- BRASIL. Código brasileiro de aeronáutica. **Diário Oficial da União**, Lei 7.595 de 19 de dezembro de 1986, 1986.
- BURT, P. M. S. Measuring acoustic responses with maximum-length sequences. In: **Telecommunications Symposium, 1998. ITS '98 Proceedings. SBT/IEEE International**. [S.l.: s.n.], 1998. p. 284–289 vol.1.
- DECEA. **Regiões de informação de vôo**. www.decea.gov.br: [s.n.], Novembro 2016. Acesso em 12/11/2016, 19h 38min.
- FALK QINGFENG XU, W. C. T. H. Non-intrusive gmm-based speech quality measurement. In: . [S.l.: s.n.], 2005. p. 125–128.
- FALK, T. H. et al. Objective quality and intelligibility prediction for users of assistive listening devices. **IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE**, p. 114–124, 2015.
- FREEMAN, R. L. **Fundamentals of Telecommunications, 2nd edition**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2005.
- GRANCHAROV DAVID Y. ZHAO, J. L. W. B. K. V. Non-intrusive speech quality assessment with low computational complexity. **INTERSPEECH 2006 - ICSLP, Ninth International Conference on Spoken Language Processing, Pittsburgh, PA, USA**, September, p. 17–21, 2006.
- GRAY M P HOLLIER, R. E. M. P. Non-intrusive speech-quality assessment using vocal-tract models. **IEE Proceedings - Vision, Image and Signal Processing**, v. 147, Issue: 6, p. 493 – 501, 2000.

GRUBER, J. A. A comparison of measured and calculated speech temporal parameters relevant to speech activity detection. **Communications, IEEE Transactions on**, v. 30, p. 728–738, 1982.

HINTERLEITNER, F. **Quality of Synthetic Speech: Perceptual Dimensions, Influencing Factors, and Instrumental Assessment**. Springer Singapore, 2017. (T-Labs Series in Telecommunication Services). ISBN 9789811037344. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=sfOhDgAAQBAJ>>.

HOLUB MICHAEL STREET, O. T. J. A novel non-intrusive voice transmission quality measurement algorithm based on wavelet transform. **Wireless Telecommunications Symposium**, v. 06, 2006.

ICAO. **International standard and recommended practices - ANNEX 10 - Communication Systems (Part II - Voice communication systems)**. 1996.

ISO. **ISO 3382 - Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms**. 2008.

ITU. **ITU-T Rec. G.711 Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies, 1993**. 1993.

ITU. **ITU-T Recommendation P.56 - Objective measurement of active speech level, 1993**. 1993.

ITU. **ITU-T recommendation P.79: Calculation of loudness ratings for telephone sets**. 1993.

ITU. **ITU-T Rec. G.726 : 40, 32, 24, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM), 1996**. 1996.

ITU. **ITU-T Rec. P.800 - Methods for Subjective Determination of Transmission Quality, 1996**. 1996.

ITU. **ITU-T Recommendation P.81 Modulated noise reference unit (MNRU), 1996**. 1996.

ITU. **ITU-T RECOMMENDATION P.830 - SUBJECTIVE PERFORMANCE ASSESSMENT OF TELEPHONE-BAND AND WIDEBAND DIGITAL CODECS, 1996**. 1996.

ITU. **Series P Supplement 23 - ITU-T coded-speech database, 1998**. 1998.

ITU. **International standard and recommended practices - ANNEX 11 - Air Traffic Services (Air Traffic Control Service Flight Information Service, Alerting Service)**. 2001.

ITU. **ITU-T Rec. G.712, Transmission performance characteristics of pulse code modulation channels**. 2001.

ITU. **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, 2001**. 2001.

ITU. **ITU-T Rec. P.563 - Single-ended method for objective speech quality assessment in narrow-band telephony applications, 1996**. 2004.

ITU. **ITU-T P.807 - Subjective test methodology for assessing speech intelligibility**, 2016. 2016.

JASSIM, N. M. W. A.; ZILANY, M. S. A. Prediction of speech intelligibility using a neurogram orthogonal polynomial measure (nopm). **IEEE/ACM TRANSACTIONS ON AUDIO, SPEECH, AND LANGUAGE PROCESSING**, v. 23 NO.4, p. 760–773, 2015.

MÖLLER, F. K. V. C.-L. G. M. S. Non-intrusive estimation model for the speech-quality dimension loudness. **ITG-Fachbericht 267: Speech Communication**, v. 05, p. 175–179, 2016.

MRVOVA, M.; POCTA, P. Quality estimation of synthesized speech transmitted over ip channel using genetic programming approach. In: **The International Conference on Digital Technologies 2013**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 39–43.

PAPASRATORN, B. et al. **Advances in Information Technology: 6th International Conference, IAIT 2013, Bangkok, Thailand, December 12-13, 2013. Proceedings**. Springer International Publishing, 2013. (Communications in Computer and Information Science). ISBN 9783319037837. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=hDy5BQAAQBAJ>>.

PATYNEN, B. F. K. J.; LOKKI, T. Investigations on the balloon as an impulse source. **J.Acoustical Society of America**, v. 129, 2011.

RAAKE, A. **Speech Quality of VoIP: Assessment and Prediction**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2007.

ROSSI, D. S. Z. **Modelo de uso dos canais de comunicação do controle de tráfego aéreo**. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA INDUSTRIAL, 2015.

ROZHON, J. et al. Utilizing the neural networks for speech quality estimation based on the network characteristics. In: _____. **AETA 2015: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 99–109. ISBN 978-3-319-27247-4.

SALEHI, V. P. H. Nonintrusive speech quality estimation based on perceptual linear prediction. **IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)**, 2016.

SONI, M. H.; PATIL, H. A. Novel subband autoencoder features for non-intrusive quality assessment of noise suppressed speech. In: **Interspeech 2016**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 3708–3712.

STREIJL, R. C.; WINKLER, S.; HANDS, D. S. Mean opinion score (mos) revisited: methods and applications, limitations and alternatives. **Multimedia Systems**, v. 22, n. 2, p. 213–227, Mar 2016. ISSN 1432-1882. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00530-014-0446-1>>.

SUN, L.; IFEACHOR, E. C. Perceived speech quality prediction for voice over ip-based networks. **IEEE International Conference on**, v. 4, p. 2573–2577, 2002.

TOMINAGA, T. et al. Performance comparisons of subjective quality assessment methods for mobile video. In: **2010 Second International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 82–87.

VELDHUIS R N. J., B.-M.; WML, V. D. Subband coding of digital audio signals. **Philips J. Res**, v. 4, p. 329–343, 1989.

XU, J. et al. On the properties of mean opinion scores for quality of experience management. In: **2011 IEEE International Symposium on Multimedia**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 500–505.

ZABALLOS, M. T. et al. Air traffic controllers long-term speech-in-noise training effects: A control group study. **Noise & Health**, v. 18(85), p. 376–381, 2016.

ANEXO A – RECURSOS, EQUIPAMENTOS E INFRAESTRUTURA

Neste anexo são apresentados os recursos materiais, equipamentos e infraestrutura que foram necessários para a condução do experimento subjetivo. São listadas as especificações importantes, bem como marca e modelo dos equipamentos utilizados. A seleção dos equipamentos e recursos foi realizada em conformidade com as recomendações da ITU-T P.800 (ITU, 1996b), e/ou das solicitações realizadas pelo Comitê de Ética da UTFPR. Para cada item é indicado o requisito, sua finalidade, especificação e disponibilidade, que identifica a organização ou pessoa física detentora do recurso.

A.1 MATERIAIS E RECURSOS PARA TESTES COM AERONAVES

1. Avião para realizar condições de teste - teto operacional baixo; Finalidade: acessar áreas de degradação de áudio, para aferir as condições de teste; Especificação: Cessna 208 - Grand Caravan, 9 passageiros, velocidade de cruzeiro 340 km/h, teto operacional 25000 pés (7.620 m), carga líquida de até 1200kg; Disponibilidade: CINDACTA II. O avião utilizado é mostrado na Figura 51.
2. Avião para realizar condições de teste - teto operacional alto; Finalidade: acessar áreas de degradação de áudio, para aferir as condições de teste; Especificação: Embraer Legacy 500, 12 passageiros, velocidade de cruzeiro de 863 km/h, teto operacional 45.000 pés (13.716 m), carga líquida de até 1270 kg; Disponibilidade: GEIV (Grupamento de Ensaio em Vôo do DECEA).
3. Reprodutor de áudio digital 16 bits, 44,4 kHz; Finalidade: reproduzir áudios de referência nos trechos avião - ACC e ACC - avião; Especificação: Behringer UCA222 - interface de áudio. Impedância de saída 400 ohm, saída máxima de 2 dBV, THD inferior a 0,05 %, resposta em frequência de 10 Hz a 20 kHz (± 1 dB); Disponibilidade: recurso próprio (duas unidades).
4. Gravador de áudio digital 16 bits, 44,4 kHz; Finalidade: gravar áudios nos trechos avião - ACC e ACC - avião; Especificação: Behringer UCA222 - interface de áudio. Impedância

Figura 51: Avião Cessna Grand Caravan utilizado na transmissão e recepção de sinais de áudio em teto operacional baixo

Fonte: (BOOM, 2017)

Figura 52: Avião Embraer Legacy 500 utilizado na transmissão e recepção de sinais de áudio em teto operacional alto

Fonte: (BOOM, 2017)

de saída 400 ohm, saída máxima de 2 dBV, THD inferior a 0,05 %, resposta em frequência de 10 Hz a 20 kHz (± 1 dB); Disponibilidade: recurso próprio (duas unidades).

5. Notebook para interface e armazenamento de áudio; Finalidade: interface para gravar e reproduzir áudios nos trechos avião - ACC e ACC - avião; Especificação: notebook Dell Latitude E6430s; Disponibilidade: CINDACTA II

6. Inversor de frequência 12V/127V e conjunto de cabos de alimentação; Finalidade: alimentação do sistema de gravação/reprodução no avião; Especificação: Inversor de frequência

Figura 53: Interfaces de áudio Behringer UCA222 adquiridas para gravação e reprodução de áudio nas condições de teste

Fonte: Adquiridas pelo pesquisador

12V para 110V, 150W, com adaptador 3 pinos, conjunto adaptador bateria de 12V / plug de 12V; Disponibilidade: recursos próprios.

Figura 54: Inversor de frequência 12V / 120V utilizados para alimentação do sistema de gravação/reprodução na aeronave

Fonte: Adquiridas pelo pesquisador

7. Cabo de interface avião-gravador / reproduzidor (interface do tipo SITTÍ); Finalidade: reproduzir e gravar sons a partir do avião; Especificação: Conector duplo tipo PRS, casamento de impedância, teste e validação, adaptador RCA não balanceado; Disponibilidade: Desenvolvido para a aplicação.

Observações: Esta interface foi desenvolvida para possibilitar a transferência de sinais da Central de Áudio SITTÍ para o sistema de gravação/reprodução. Ela possui um conector específico que se conecta à posição de operação de controle. Tendo em vista que não haviam informações disponíveis no manual do fabricante, a pinagem do conector foi levantada manualmente. A Figura 55 apresenta a pinagem do conector utilizado na interface "SITTÍ", com informações dos respectivos sinais.

Verificou-se que entre os pinos 8 e 9, que correspondem à entrada de microfone, havia uma tensão de -24 V, que é utilizada para alimentação do circuito de interface de microfone de eletreto. De maneira a realizar o desacoplamento do sinal de corrente contínua, foi instalado um filtro tipo RC. O resistor **R1** foi escolhido levando em consideração que a console de operação possui um circuito que corta a entrada do microfone quando este não é detectado. Verificou-se, empiricamente, que para valores de **R1** superiores a 20 k Ω a entrada era desabilitada, e o mesmo ocorria quando **R1** era inferior a 5 k Ω . Foi escolhido então o valor de 10 k Ω de maneira a "enganar" o circuito de detecção de microfone. O diagrama da interface do tipo "SITTI" é mostrado na Figura 56.

Figura 55: Conector ODU tipo 0Y R-P010 0-000 utilizado nas posições operacionais de controle. O pino 1 corresponde ao sinal Audio L+, o pino 2 a Audio L-, o pino 3 a Audio R+, pino 4 a Audio R-, pino 7 a mic+, pino 8 a mic-, pinos 8 e 10 comum e pino 6 PTT

Fonte: Catálogo ODU, conector modelo 0Y R-P010 0-000

8. Cabo de interface console ACC gravador / reproduz (interface do tipo Aeronave); Finalidade: reproduzir e gravar sons a partir da console do ACC; Especificação: Conector proprietário 12 pinos, casamento de impedância, teste e validação, adaptador RCA não balanceado; Disponibilidade: Desenvolvido para a aplicação.

Observações: A interface deste tipo apresenta dois plugs que são conectados à aeronave. O conector tipo PJ-068, exibido na Figura 57 é utilizado para a conexão do microfone do *headset* dos tripulantes. O outro conector, do tipo PJ-055 é utilizado para alimentação do fone, e é equivalente aos utilizados em fones de ouvidos comerciais, apresentando mesma pinagem. Entre os anéis 2 e 3 do conector de microfone foi encontrada tensão de aproximadamente +9V, que é utilizado pelo circuito de microfone da aeronave e também para circuitos de redução ativa de ruídos dos *headsets* aeronáuticos. De maneira semelhante à interface do tipo "SITTI", foi empregado um filtro RC para realizar o desacoplamento do nível de corrente contínua. O diagrama da interface do tipo "Aeronave" é exibida na Figura 58.

Figura 56: Diagrama da interface tipo "SITTI", evidenciando principais componentes

Figura 57: Plug de aviação tipo PJ-068 de 2,06" utilizado para conexão do microfone em aeronaves. O anel 1 corresponde ao sinal PTT, anel 2 ao sinal Mic+ e anel 3 ao GND

Fonte: Adaptado de www.acoustic.com2015aviation-headset-information-specs

A.2 MATERIAIS E RECURSOS PARA GRAVAÇÃO E TESTE SUBJETIVO

1. Sala de Gravação: Sala de Gravação 30-120 m³, ruído inferior a 30 dBA, reverberação inferior a 500 ms. Finalidade: Gravar áudios Especificação: Sala com 31,35 m³, ruído medido 28 dBA com ar-condicionado, medidas de (6,4 x 4,8) m, projeto acústico com parâmetro de reverberação inferior a 400 ms. A Figura 59 apresenta a sala de gravação utilizada pelos locutores para a gravação dos sinais de referência. Disponibilidade: Estúdio BOOM.
2. Sala de reprodução de áudio, volume na faixa de 30 a 120 m³, ruído inferior a 30 dBA, reverberação inferior a 500 ms. Finalidade: aplicação do teste subjetivo. Especificações: volume de 89 m³, ruído medido de 28 dBA, janelas de vidro duplo, acomodação para até

Figura 58: Diagrama da interface tipo ”Aeronave”, evidenciando principais componentes

Figura 59: Sala de gravação utilizada para a gravação de sinais de referência

Fonte: (BOOM, 2017)

9 pessoas, reverberação projetada inferior a 300 ms. Disponibilidade: Estúdio BOOM.

Figura 60: Sala de aplicação do teste subjetivo, com acomodação para até 9 pessoas

Fonte: (BOOM, 2017)

3. Suportes de microfone: manter posição fixa do microfone em relação ao locutor; Finalidade: Gravar áudios; Especificação: Com ajuste de altura, posição do microfone, pés deslizantes; Disponibilidade: Estúdio BOOM.
4. Cadeiras / bancos de gravação: garantir condição ergonômica para o locutor; Finalidade: Gravar áudios; Especificação: Com ajuste de altura, posição, pés deslizantes; Disponibilidade: Estúdio BOOM.
5. Cabos de conexão: realizar as interligações de sinais de áudio; Finalidade: Gravar áudios; Especificação: Cabos balanceados tipo XLR; Disponibilidade: Estúdio BOOM.
6. Decibímetro digital; Finalidade: Ensaio de validação da sala de gravação e controlar os níveis de pressão sonora para a realização das avaliações; Especificação: Faixa 30-120dBA, resolução 0,1dB, Testo modelo 816; Disponibilidade: CINDACTA II.
7. Trena eletrônica a laser: realizar ensaio de validação na sala de gravação; Finalidade: Ensaio de validação da sala; Especificação: 100 m, precisão +-1mm, Fluke modelo 424D; Disponibilidade: CINDACTA II.
8. Microfone linear: captação de áudio; Finalidade: Gravar áudios de referência; Especificação: Neumann U87: transdutor por gradiente de pressão, 20 Hz - 20k Hz, resposta linear, sensibilidade 28 mV/Pa, relação sinal-ruído maior que 80 dB, nível máximo suportado 117 dBA; Mojave Audio: transdutor por gradiente de pressão, nível máximo suportado

120dBA, distorção inferior a 1 % (a 117 dBA), 20 Hz-20 KHZ $\pm 2,5$ dB; Disponibilidade: Estúdio BOOM. O equipamento utilizado é mostrado na Figura 61.

Figura 61: Microfone Neumann U87 utilizado na gravação de áudios de referência

Fonte: (BOOM, 2017)

9. Pré-amplificador de microfone linear e baixa distorção Finalidade: Gravar áudios de referência Especificação: Pré-amplificador linear Classe A, valvulado, reposta em frequência de 20 Hz a 20 kHz ($\pm 0,5$ dB), ganho máximo 40 dB, nível de ruído inferior a -72 dBu) modelo Universal Audio LA-610 MKII. Disponibilidade: Estúdio BOOM. O equipamento utilizado é mostrado na Figura 62.

Figura 62: Pré-amplificador linear Universal Audio LA-610 MKII utilizado nas gravações de sinais de referência

Fonte: (BOOM, 2017)

10. Mesa de áudio, baixo nível de ruído; Finalidade: Gravação de áudio; Especificação: Mesa de áudio com resposta em frequência 20Hz a 20KHz ($\pm 0,1$ dB), nível de ruído inferior a -89 dBu, THD inferior a 0,002 % na faixa de frequência, Solid State Logic Matrix. A mesa utilizada é mostrada na Figura 63. Disponibilidade: Estúdio BOOM.

11. Conversor analógico-digital, 16 bits, 16 kHz; Finalidade: Gravação de áudio; Especificação: conversor Analógico-Digital e Digital-Analógico de 16 canais, 192 kHz, 24 bits, delta-sigma AD, faixa dinâmica 117 dB, resposta em frequência de 20 Hz a 20 kHz (+0/-

Figura 63: Mesa de áudio Solid State Logic modelo Matrix, utilizada na gravação e reprodução de áudios de referência

Fonte: (BOOM, 2017)

0,1 dB), THD inferior a 0,0004 %, Lynx Studio Aurora 16. O conversor utilizado é mostrado na Figura 64; Disponibilidade: Estúdio BOOM.

Figura 64: Conversor analógico-digital e digital-analógico Lynx Studio Aurora 16 utilizado nas gravações dos sinais de referência

Fonte: (BOOM, 2017)

12.Placa de interface com Computador tipo PC e dispositivo de armazenamento; Finalidade: Gravação de áudio; Especificação: interface digital de equipamentos e sinais, com suporte a 192 canais (Entrada/Saída) digitais Avid modelo HD Native; Disponibilidade: Estúdio BOOM. O equipamento utilizado é mostrado na Figura 65.

13.Unidade de armazenamento - 50 GB; Finalidade: Gravação de áudio; Especificação: Unidade de armazenamento de 3 TB; Disponibilidade: Estúdio BOOM.

14.Pré-amplificador de microfone linear e baixa distorção; Finalidade: Gravar áudio/ensaiar salas; Especificações: Avid HD Omni - faixa dinâmica 118 dB, resposta em frequência de 20 Hz a 20 kHz ($\pm 0,05\text{dB}$), THD ; 0,00045 %, faixa de ganho 65 dB; Disponibilidade: Estúdio BOOM.

Figura 65: Conversor analógico-digital e digital-analógico Lynx Studio Aurora 16 utilizado nas gravações dos sinais de referência

Fonte: (BOOM, 2017)

Figura 66: Pré-amplificador linear de microfone Avid HD Omni para uso nas sessões de gravação / validação das salas

Fonte: (BOOM, 2017)

15. Ferramenta de processamento de áudio que permita: medir a intensidade de áudio, gerar tons de 1kHz, medir relação S/R, modificar nível de gravação (-26 dB), realizar edição de áudio, calcular espectro de sinais em tempo real; Finalidade: Processamento e edição de áudio; Especificação: Software Avid PRO TOOLS 11: processamento simultâneo de até 128 canais, 32 entradas de gravação simultânea de 32 bits, 192 kHz; toolbox de processamento de sinais de áudio. Matlab 2017- versão estudante: Processamentos adicionais. Microsoft Visual Studio 2015: compilação e adaptação de códigos de processamento da ITU; Disponibilidade: Estúdio BOOM, recursos próprios.
16. Material para gravação; Finalidade: gravar áudios; Especificação: Elaborar listas com 340 frases de até 3 s; Disponibilidade: providenciado.
17. Locutores para áudio de referência Finalidade: gravar áudio; Especificação: 8 pessoas que falam português e inglês com fluência, sendo 4 do sexo feminino e 4 do sexo masculino; Disponibilidade: CINDACTA II.
18. Monitores de áudio de referência; Finalidade: medir sensibilidade de microfones, execução da avaliação, ensaios Especificação: resposta em frequência faixa de 45 Hz a 28 kHz, nível máximo 112 dBA (a 1 metro), potência de 100 W RMS; classe AB, resposta plana; Disponibilidade: Estúdio BOOM.
19. Operadores/Técnicos de Estúdio; Finalidade: gravação de áudio, operação do sistema de aquisição e gravação; Especificação: técnicos com treinamento para utilizar os equipa-

Figura 67: Monitor de áudio de referência Focal CMS 65 utilizado nos ensaios

Fonte: (BOOM, 2017)

mentos de gravação e aquisição; Disponibilidade: Estúdio BOOM.

ANEXO B – ROTEIRO DO LOCUTOR E LISTA DE FRASES

QUALIDADE DE ÁUDIO EM TELECOMUNICAÇÕES AERONÁUTICAS

EXPERIMENTO SUBJETIVO – BASE DE DADOS DE REFERÊNCIA

Prof. Alexandre Pohl

Aluno: Rodrigo L. Frigotto

ROTEIRO DO LOCUTOR

1. Objetivo

Este documento tem como objetivo apresentar um roteiro para os locutores que participarão da gravação de uma base de sinais de áudio de referência, em conformidade com as recomendações da norma ITU-T P.800. Este roteiro inclui: apresentação do método utilizado para gravação, um breve procedimento de treinamento dos locutores, e a lista de frases que deverá ser lida por cada locutor.

2. Atividades dos Locutores

As seguintes atividades deverão ser desenvolvidas pelos locutores, para a gravação dos sinais de referência:

- a) Conhecer a lista de frases a serem narradas;
- b) Conhecer os procedimentos a serem adotados para a gravação;
- c) Realizar o treinamento de locução;
- d) Reproduzir as listas de frases de gravação.

3. Procedimentos

Este item descreve os procedimentos para cada atividade a ser realizada pelos locutores.

- a) Conhecer a lista de frases a serem narradas: o documento “Lista de Frases” deste apresenta quatro listas de frases que deverão ser lidas pelos locutores, sendo duas em português e duas em inglês. A Lista “A” apresenta frases gerais aleatórias em português, com duração de 2 a 3 segundos, retiradas de jornais ou literatura não técnica, conforme recomendação da ITU-T P.800. A Lista “B” apresenta frases em caráter geral em inglês, e representa um conjunto de frases sugeridas na norma da ITU e outras frases adicionadas utilizando os mesmos critérios da Lista “A”. As Listas “C” e “D” representam frases de controle de tráfego aéreo de 2 a 3 segundos obtidas a partir de gravações reais. A “Lista de Frases” (Anexo _____) ainda apresenta uma Lista de “Treinamento”, igual para todos os locutores, cuja finalidade é ambientar as pessoas ao procedimento de gravação.

Recomenda-se que cada locutor leia todas as frases de cada uma das listas em voz alta por pelo menos três vezes de maneira a tomar ciência das mesmas. O locutor deverá tentar reproduzi-las em voz de maneira natural, com intensidade e tom de voz habituais de um diálogo.

- b) Conhecer os procedimentos a serem adotados durante a gravação: No dia e horário marcados para a gravação, o locutor deverá preencher o “Questionário do Locutor”. Após

o preenchimento, o locutor será levado ao Estúdio Principal para início das fases de treinamento e gravação.

O ambiente de gravação possui cerca de 30 m², possui iluminação ambiente suave e será climatizado à temperatura na faixa de 22 a 24 °C. Embora seja amplo e possua renovação forçada de ar, não possui janelas para o exterior, portanto é recomendável que o locutor não sofra de fobias ou restrições de permanecer em local fechado.

O locutor deverá se assentar na banquetta próximo à janela de monitoramento do estúdio e o microfone será posicionado à distância de 17,0 cm da boca do locutor. A “Lista de Frases” fornecida (Anexo___) será posicionada no suporte à frente do locutor, ajustado de maneira que a leitura possa ser realizada com facilidade. Os equipamentos estarão prontos e devidamente ajustados. O locutor deverá permanecer em posição ereta durante o procedimento de gravação e caso deseje descansar ou mudar de posição, a gravação será interrompida. Toda a comunicação entre a equipe de coordenação e o locutor será realizada por meio do microfone e de caixas de som instaladas no interior do Estúdio Principal. Todo o procedimento de treinamento, calibração e gravação deverá levar aproximadamente 15 minutos. A porta do estúdio será fechada e será iniciado a Calibração dos equipamentos.

Após o fechamento da sala, o Coordenador do experimento indicará o momento em que o locutor poderá iniciar a narração das frases da lista de “Treinamento”. O locutor então reproduzirá em voz alta, utilizando tom de voz e intensidade habituais de diálogo, a primeira frase da Lista de Treinamento. Após sinalização do Coordenador do experimento, este deverá reproduzir a segunda frase e assim sucessivamente, até que seja sinalizado para que o locutor pare. O objetivo desta etapa é realizar a calibração dos níveis do pré-amplificador e demais componentes a fim de se obter o nível de gravação desejado. Após a calibração, será realizada a etapa de Treinamento.

- c) Realizar o treinamento de locução: O treinamento consistirá em reproduzir em voz alta a lista de frases de “Treinamento”, assim identificada no Anexo II, para que o locutor se acostume ao procedimento, e a gravação ocorra de maneira mais eficiente.

(...)

Figura ___ – Reprodução de grupos de frases pelo locutor

Após sinalização do Coordenador de que o sistema está pronto para gravação, o locutor escutará três bipes seguidos, espaçados de 1 segundo. Ao término dos bipes, o locutor deverá iniciar a reprodução das frases a partir do primeiro grupo. A execução de cada um dos grupos obedecerá a ordem apresentada na Figura 1, sendo que as frases deverão ser reproduzidas de maneira natural, procurando utilizar o mesmo nível e tom de voz utilizado durante a calibração. O locutor deverá pausar brevemente entre a reprodução das frases, e terá aproximadamente 10 segundos para pronunciar as três frases de cada grupo.

Após este período, o locutor escutará novamente os três bipes cadenciados, e então deverá passar a reproduzir as frases do próximo grupo e assim sucessivamente. Conforme pode ser observado no Anexo II, a lista de treinamento possui 4 grupos de frases, e o treinamento será finalizado quando toda a lista for reproduzida. O locutor poderá, se desejar, solicitar a execução de um novo treinamento.

- d) Reproduzir as listas de frases de gravação: Ao término do treinamento, e quando sinalizado pelo Coordenador, o locutor escutará novamente os três bipes. Da mesma maneira que no treinamento, o locutor deverá passar a reproduzir os grupos de frases conforme apresentado na Figura 1.

Serão reproduzidos um total de 16 grupos com 3 frases cada para cada locutor. Na medida em que as frases são narradas, o Coordenador observará a ocorrência de eventuais problemas. Serão analisados pela equipe de coordenação: se o nível de gravação permaneceu dentro dos limites exigíveis, se o locutor se movimentou durante a gravação, ultrapassando os limites permitidos. O Coordenador então anotará quaisquer problemas obtidos durante a gravação bem como o grupo de frases que apresentou problema na “Ficha de Acompanhamento de Gravação”, e após o término da sessão, será coordenada com o locutor a regravação destes grupos.

******* FIM *******

Obs. Após o término das gravações, o locutor poderá desfrutar de um brinde

LISTA DE CALIBRAÇÃO E TREINAMENTO

Fritou a galinha na banha	G 5
A comida está na mesa	
Quebrou o coco com as mãos	

O carneiro estava delicioso	G 6
O aparelho não funcionava	
Seu depoimento foi fundamental	

A barragem se rompeu na madrugada	G 7
Seus métodos o contradiziam	
Era relativamente pobre	

O acesso estava interditado	G 8
O texto foi elaborado por especialistas	
Era reconhecido pela gastronomia	

LISTA A – GRUPOS EM PORTUGUÊS

Fritou a galinha na banha	G 5
A comida está na mesa	
Quebrou o coco com as mãos	

O carneiro estava delicioso	G 6
O aparelho não funcionava	
Seu depoimento foi fundamental	

A barragem se rompeu na madrugada	G 7
Seus métodos o contradiziam	
Era relativamente pobre	

O acesso estava interditado	G 8
O texto foi elaborado por especialistas	
Era reconhecido pela gastronomia	

Era portador de boas notícias	G 35
Havia vida no novo mundo	
Agia com coerência e bondade	

A cortina era azul escuro.	G 36
Seu cúmplice a abandonou	
As flores enchiam o jardim	

LISTA B – GRUPOS EM INGLÊS

Western people eat too much meat.	G 56
He was lying when he gave the statement	
The movie was amazing.	

Honey is good for the skin	G 57
There was a sharp increase in crime	
Before sleep, she prayed	

It was his first day at his new job	G 58
Try to ask your boss about your vacations	
She was called late that night	

He was told to stay outside of the house	G 59
She had ice-cold lemonade.	
There were no streets in the village	

She opened the envelope and smiled	G 86
Some of these songs are sad	
The criminal acted methodically	

Carnival in Bahia lasts two months	G 87
The book has two-hundred pages	
Depression is a sad disease	

LISTA C – GRUPOS ATC EM PORTUGUÊS

Confirme proa azul cinco quatro seis zero	G 105
Mantenha proa uno nove zero	
Proa três seis zero vinte milhas	

Gol cinco dois três cinco	G 106
uno uno três quatro autorizado quatro uno zero	
Após nível dois nove zero usar critério	

LISTA D – GRUPOS ATC EM INGLÊS

The wind is calm	G 121
Winds three-four-zero at one-zero	
Climb and maintain twelve thousand	

Contact ground on one-two-one decimal four	G 122
Clear to take off	
join the final approach course	

ANEXO C – MODELO DE QUESTIONÁRIOS: LOCUTOR E AVALIADOR

Anexo <> - Questionário do Locutor

<u>Identificação do Locutor</u>
<u>Nome Completo:</u>
<u>RG:</u>
<u>Idade:</u>
<u>Sexo:</u>

É fluente em português?

Sim ☐ Não ☐

É fluente em inglês?

Sim ☐ Não ☐

Possui algum problema de fala?

Sim ☐ Não ☐

Fez uso de bebidas alcoólicas ou outras substâncias que podem prejudicar a atenção?

Sim ☐ Não ☐

Possui alguma fobia ou restrição quanto à permanecer em locais fechados?

Sim ☐ Não ☐

Declaro que as informações fornecidas acima descritas são verdadeiras. Declaro que estou ciente e que concedo autorização para que as gravações de voz sejam utilizadas em pesquisas científicas conduzidas pela UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) ou por outros institutos de pesquisa ou em pesquisas de qualidade de áudio realizadas pelo Departamento de Controle de Tráfego Aéreo (DECEA), não podendo serem utilizadas para fins comerciais. Cedo os direitos de minha voz para estes fins.

Data e Assinatura do Locutor

Anexo <> - Questionário de Participação

<u>Identificação do Avaliador:</u>
<u>Nome Completo:</u>
<u>RG:</u>
<u>Idade:</u>
<u>Sexo:</u>

É fluente em português?

Sim ☐ Não ☐

É fluente em inglês?

Sim ☐ Não ☐

Possui algum problema de fala?

Sim ☐ Não ☐

Fez uso de bebidas alcoólicas ou outras substâncias que podem prejudicar a atenção?

Sim ☐ Não ☐

Possui alguma fobia ou restrição quanto à permanecer em locais fechados?

Sim ☐ Não ☐

Declaro que as informações fornecidas acima descritas são verdadeiras. Declaro que estou ciente e que concedo autorização para que as gravações de voz sejam utilizadas em pesquisas científicas conduzidas pela UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) ou por outros institutos de pesquisa ou em pesquisas de qualidade de áudio realizadas pelo Departamento de Controle de Tráfego Aéreo (DECEA), não podendo serem utilizadas para fins comerciais. Cedo os direitos de minha voz para estes fins.

Data e Assinatura do Avaliador

ANEXO D – TLCE E TCUIV UTILIZADOS NA PESQUISA

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) / TERMO DE
CONSENTIMENTO PARA USO DE IMAGEM E SOM DE VOZ (TCUISV)
GRUPO 1 - LOCUÇÃO**

Título da pesquisa: Estudo subjetivo de qualidade de voz em telecomunicações aeronáuticas –

Pesquisador(es/as) ou outro (a) profissional responsável pela pesquisa, com Endereços e Telefones:

Rodrigo Luiz Frigotto – Eng. Eletricista, Rua Nicarágua, 1081, Ap.52, Bacacheri, Curitiba – PR, 82510-170, telefone (41) 99957-7755

Alexandre de Almeida Prado Pohl – Prof. Dr, Av. Sete de Setembro, 3165 – Rebouças, Curitiba – PR, CEP 80230-901 - Curitiba – PR, telefone (41) 99236-8682

Local de realização da pesquisa: Estúdio BOOM Sound Design

Endereço, telefone do local: Rua Prof. Rodolfo Belz, 913, Santa Cândida, Curitiba – PR, telefone (41) 3203-5674

A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE

1. Apresentação da pesquisa.

Este é um convite para você participar da pesquisa "Estudo subjetivo de qualidade de voz em telecomunicações aeronáuticas", sob a responsabilidade dos pesquisadores citados no início deste documento. Esta pesquisa pretende avaliar a influência dos meios de comunicação utilizados nas comunicações de controle de tráfego aéreo na qualidade de voz percebida pelos utilizadores. Tendo em vista que as comunicações por voz são o principal meio de intercâmbio de informações entre os controladores e tráfego aéreo e os aero-navegantes, eventuais degradações de qualidade podem prejudicar a operação e a segurança da aviação geral.

Como parte essencial desta pesquisa, serão gravados sinais de voz formados por frases comuns de 2 a 3 segundos de duração, conforme condições estabelecidas em normas técnicas reconhecidas. Estas gravações serão realizadas por indivíduos do Grupo 1 – Locução. Em seguida, os sinais de voz gravados serão submetidos aos meios técnicos utilizados nas telecomunicações aeronáuticas, simulando situações reais de comunicação entre pilotos e controladores. Estes sinais serão então avaliados por um outro grupo de pessoas denominado Grupo 2 – Avaliação.

Ao aceitar este termo, você poderá participar desta pesquisa, integrando o Grupo 1 – Locução.

2. Objetivos da pesquisa.

Avaliar a degradação dos sinais de voz quando transmitidos através dos meios técnicos utilizados em telecomunicações aeronáuticas, através da elaboração de um experimento subjetivo. Neste experimento, serão gravados sinais de voz de referência por um grupo de participantes (Grupo 1 – Locução), estes serão submetidos aos meios técnicos de telecomunicações aeronáuticas. Então avaliadores humanos, pertencentes a outro grupo de participantes (Grupo 2 – Avaliação), deverão classificar os diferentes sinais em uma escala de opinião de 1 a 5, em sessões de duração aproximada de 20 minutos.

3. Participação na pesquisa.

O método proposto consiste na montagem de uma base de áudio de referência, realização de tratamentos nesta base de áudio e submissão dos sinais tratados a um número de avaliadores para classificação dos sinais.

A gravação, realizada para os participantes do Grupo 1 – Locução, consistirá na reprodução de cerca de 400 frases por 8 pessoas, sendo 4 do sexo feminino e 4 do sexo masculino, com 50% em inglês e 50% em português. As frases consistirão de texto simples de 2 a 3 segundos de duração, e deverão ser pronunciadas com tom de voz e volume naturais, num estúdio de gravação de baixa reverberação, com ruído abaixo de 30 dB e temperatura controlada. Cada pessoa reproduzirá 48 frases, e é estimado o tempo de sessão de gravação em torno de 15 minutos por pessoa. Os áudios serão gravados com alta qualidade (192 kHz, 24 bits) para posteriores tratamentos.

Sendo integrante do Grupo 1 – Locução, você receberá um roteiro denominado “Roteiro do Locutor”, com a sua respectiva identificação numérica “Locutor X”, em que “X” é um número de 1 a 8. O Roteiro mencionado apresenta uma lista de frases elaboradas com instruções detalhadas. O procedimento, de maneira resumida consiste em: a) Tomar conhecimento de 16 conjuntos de 3 frases (totalizando 48 frases) curtas, pronunciando-as em voz alta pelo menos três vezes antes do início das atividades de locução; b) apresentar-se no dia agendado no Estúdio BOOM Sound Design, localizado sito à Rua Prof. Rodolfo Belz, 913, Santa Cândida, responder o “Questionário do Locutor”, que solicita informações sobre a proficiências nos idiomas português e inglês, dados pessoais, entre outras informações conforme modelo; c) Realizar o treinamento de locução, no ambiente do estúdio, reproduzindo 12 frases de treinamento em tom e volumes de conversa habituais. Neste momento, serão realizadas as calibrações de nível dos equipamentos e testados os meios de comunicação entre os participantes e os responsáveis pela pesquisa; c) Realizar a gravação das 48 frases do “Roteiro do Locutor”, devidamente identificadas com um código.

Ao término da gravação, sua participação no experimento se encerra. A partir deste momento, os sinais de voz gravados serão identificados apenas por sua identificação numérica, de maneira a preservar a identidade do participante.

Caso concorde com a execução da pesquisa, você poderá ser fotografado e sua imagem poderá vir a ser publicada em revista digital interna do DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo.

4. Confidencialidade.

Será garantido o sigilo e privacidade ao participante da pesquisa. A coleta de dados terá caráter anônimo e as identidades dos participantes da pesquisa serão preservadas. As fichas de preenchimento não serão identificadas por nomes, mas utilizando códigos. A guarda dos documentos ficará a cargo do coordenador do experimento.

5. Riscos e Benefícios.

5a) Riscos: Riscos ergonômicos, relacionados à posição do locutor e ao nível de exposição sonora. Convém ressaltar que serão utilizados mitigadores. No caso da posição do locutor, o experimento foi projetado de maneira que tenha duração reduzida (inferior a 30 minutos), e serão realizados em ambiente próprio (estúdio de áudio) que possui cadeiras/poltronas adequados. Quanto ao nível de exposição sonora, será utilizado decibelímetro, de maneira que, em hipótese alguma, os locutores sejam submetidos à níveis superiores a 85 dB. (Conforme Anexo 1 da Norma Regulamentadora N°15). Em caso de desconforto, será acionado o SAMU local.

5b) Benefícios: O experimento permitirá que seja compilada uma base de dados de sinais de áudios de referência e degradados que poderá ser utilizada em diferentes experimentos científicos. Aplicações da base de dados incluem: avaliação de qualidade de serviços de telecomunicações, avaliação de qualidade de áudio de equipamentos comerciais, sistemas de alta fidelidade, aparelhos auditivos, entre outros. Além disso, mais diretamente, possibilitará uma melhora da qualidade de áudio nas telecomunicações aeronáuticas.

6. Critérios de inclusão e exclusão.

6a) Inclusão: Controladores de voo ou colaboradores do CINDACTA II, ou alunos da UTFPR, com fluência em inglês e português, na faixa etária de 18 a 45 anos, sendo 50% do sexo feminino e 50% do sexo masculino. Estas pessoas não poderão apresentar problemas de dicção ou audição.

6b) Exclusão: Pessoas que atestarem, no questionário preliminar à locução, que tenham consumido bebidas alcóolicas ou outras substâncias que possam prejudicar a fala nas últimas 12 horas ou indivíduos que tenham alguma restrição quanto à permanecer em espaços fechados.

7. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.

O participante poderá deixar o estudo a qualquer momento, bem como receber esclarecimentos em qualquer etapa da pesquisa. Poderá, outrossim, evidenciar a liberdade de recusar ou retirar o seu consentimento a qualquer momento sem penalização.

Declaro que:

() quero receber os resultados da pesquisa

(email para envio : _____)

() não quero receber os resultados da pesquisa

8. Ressarcimento e indenização.

O participante fica ciente de que para qualquer despesa decorrente da participação na pesquisa, haverá ressarcimento. De igual maneira, caso ocorra algum dano decorrente da minha participação no estudo, serei devidamente indenizado, conforme determina a Resolução 466/12.

ESCLARECIMENTOS SOBRE O COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA:

O Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (CEP) é constituído por uma equipe de profissionais com formação multidisciplinar que está trabalhando para assegurar o respeito aos seus direitos como participante de pesquisa. Ele tem por objetivo avaliar se a pesquisa foi planejada e se será executada de forma ética. Se você considerar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você foi informado ou que você está sendo prejudicado de alguma forma, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR).

Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Bairro Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR,

Telefone: (41) 3310-4494, **e-mail:** coep@utfpr.edu.br.

B) CONSENTIMENTO

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação direta (ou indireta) na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos, benefícios, ressarcimento e indenização relacionados a este estudo.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo, permitindo que os pesquisadores relacionados neste documento obtenham **fotografia, filmagem ou gravação de voz** de minha pessoa para fins de pesquisa científica/ educacional. As fotografias, vídeos e gravações ficarão sob a propriedade do grupo de pesquisadores pertinentes ao estudo e sob sua guarda.

Concordo que o material e as informações obtidas relacionadas a minha pessoa possam ser publicados em aulas, congressos, eventos científicos, palestras ou periódicos científicos. Porém, não devo ser identificado por nome ou qualquer outra forma

Estou consciente que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo. Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo.

Nome Completo: _____

RG: _____ Data de Nascimento: ____/____/____

Telefones: _____/_____

Endereço: _____

CEP: _____ Cidade: _____ Estado: _____

Assinatura: _____ Data: ____/____/____

Eu declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

Nome completo: RODRIGO LUIZ FRIGOTTO
Assinatura pesquisador (a):

Data: ____/____/____

Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar do mesmo, poderão se comunicar com Rodrigo, via e-mail: rodrigorf@cindacta2.gov.br ou telefone: (41) 3251-5468 / (41) 99957-7755.

Contato do Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos para denúncia, recurso ou reclamações do participante pesquisado:

Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR)

Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR,
Telefone: 3310-4494, **E-mail:** coep@utfpr.edu.br

OBS: este documento deve conter 2 (duas) vias iguais, sendo uma pertencente ao pesquisador e outra ao participante da pesquisa.

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) / TERMO DE
CONSENTIMENTO PARA USO DE IMAGEM E SOM DE VOZ (TCUISV)
GRUPO 2 - AVALIAÇÃO**

Título da pesquisa: Estudo subjetivo de qualidade de voz em telecomunicações aeronáuticas –

Pesquisador(es/as) ou outro (a) profissional responsável pela pesquisa, com Endereços e Telefones:
Rodrigo Luiz Frigotto – Eng. Eletricista, Rua Nicarágua, 1081, Ap.52, Bacacheri, Curitiba – PR, 82510-170, telefone (41) 99957-7755

Alexandre de Almeida Prado Pohl – Prof. Dr, Av. Sete de Setembro, 3165 – Rebouças, Curitiba – PR, CEP 80230-901 - Curitiba - PR telefone (41) 99236-8682

Local de realização da pesquisa: Estúdio BOOM Sound Design

Endereço, telefone do local: Rua Prof. Rodolfo Belz, 913, Santa Cândida, Curitiba – PR, telefone (41) 3203-5674

A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE

1. Apresentação da pesquisa.

Este é um convite para você participar da pesquisa "Estudo subjetivo de qualidade de voz em telecomunicações aeronáuticas", sob a responsabilidade dos pesquisadores citados no início deste documento. Esta pesquisa pretende avaliar a influência dos meios de comunicação utilizados nas comunicações de controle de tráfego aéreo na qualidade de voz percebida pelos utilizadores. Tendo em vista que as comunicações por voz são o principal meio de intercâmbio de informações entre os controladores e tráfego aéreo e os aero-navegantes, eventuais degradações de qualidade podem prejudicar a operação e a segurança da aviação geral.

Como parte essencial desta pesquisa, serão gravados sinais de voz formados por frases comuns de 2 a 3 segundos de duração, conforme condições estabelecidas em normas técnicas reconhecidas. Estas gravações serão realizadas por indivíduos do Grupo 1 – Locução. Em seguida, os sinais de voz gravados serão submetidos aos meios técnicos utilizados nas telecomunicações aeronáuticas, simulando situações reais de comunicação entre pilotos e controladores. Estes sinais serão então avaliados por um outro grupo de pessoas denominado Grupo 2 – Avaliação.

Ao aceitar este termo, você poderá participar desta pesquisa, integrando o Grupo 2 – Avaliação.

2. Objetivos da pesquisa.

Avaliar a degradação dos sinais de voz quando transmitidos através dos meios técnicos utilizados em telecomunicações aeronáuticas, através da elaboração de um experimento subjetivo. Neste experimento, serão gravados sinais de voz de referência por um grupo de participantes (Grupo 1 – Locução), estes serão submetidos aos meios técnicos de telecomunicações aeronáuticas. Então avaliadores humanos, pertencentes a outro grupo de participantes (Grupo 2 – Avaliação), deverão classificar os diferentes sinais em uma escala de opinião de 1 a 5, em sessões de duração aproximada de 20 minutos.

3. Participação na pesquisa.

O método proposto consiste na montagem de uma base de áudio de referência, realização de tratamentos nesta base de áudio e submissão dos sinais tratados a um número de avaliadores para classificação dos sinais.

Os sinais que passaram através dos meios técnicos utilizados nas telecomunicações aeronáuticas, juntamente com sinais de referência serão levados à análise de avaliadores, que deverão indicar a qualidade destes sinais de voz conforme uma escala de 1 a 5. Serão formados grupos aleatórios levando em consideração um tempo de sessão de avaliação de aproximadamente 20 minutos, de maneira que os avaliadores não tenham o juízo prejudicado pelo cansaço. Cada sessão será composta por um período de instruções de cerca de 2 minutos, e uma composição de 50 grupos de frases. Cada um destes grupos será composto por 2 frases espaçadas de cerca de 2 segundos, com um período de

avaliação de 7 segundos. O avaliador deverá escutar as três frases consecutivas e terá então 7 segundos para realizar a avaliação dos sinais, numa escala de 1 a 5. A avaliação será através de marcação da nota em papel ou utilizando ferramenta computacional. Os resultados serão então compilados e analisados estatisticamente a fim de verificar a hipótese levantada

Sendo integrante do Grupo 2 – Avaliação, você deverá; a) apresentar-se no dia agendado no Estúdio BOOM Sound Design, localizado sito à Rua Prof. Rodolfo Belz, 913, Santa Cândida, e responder ao “Questionário do Avaliador”, que solicita informações sobre a proficiência nos idiomas português e inglês, dados pessoais, entre outras informações conforme modelo; b) Receber as instruções detalhadas em papel (para que possa ler) e em voz alta em relação aos procedimentos do teste. Estes procedimentos serão apresentados somente no dia de execução do teste de maneira a não influenciar na avaliação; c) realizar o treinamento de avaliação, avaliando 4 conjuntos de sinais de voz a fim de que o avaliador consiga se habituar com o procedimento; d) realizar a avaliação de 36 a 50 grupos de frases de maneira e registrar no formulário entregue aos avaliadores.

Ao término da avaliação, sua participação no experimento se encerra. A partir deste momento, os formulários de avaliação serão identificados apenas por sua identificação numérica, de maneira a preservar a identidade do participante.

Caso concorde com a execução da pesquisa, você poderá ser fotografado e sua imagem poderá vir a ser publicada em revista digital interna do DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo.

4. Confidencialidade.

Será garantido o sigilo e privacidade ao participante da pesquisa. A coleta de dados terá caráter anônimo e as identidades dos participantes da pesquisa serão preservadas. As fichas de preenchimento não serão identificadas por nomes, mas utilizando códigos. A guarda dos documentos ficará a cargo do coordenador do experimento.

5. Riscos e Benefícios.

5a) Riscos: Riscos ergonômicos, relacionados à posição do avaliador e ao nível de exposição sonora. Convém ressaltar que serão utilizados mitigadores. No caso da posição do avaliador, o experimento foi projetado de maneira que tenha duração reduzida (inferior a 30 minutos), e serão realizados em ambiente próprio (estúdio de áudio) que possui cadeiras/poltronas adequados. Quanto ao nível de exposição sonora, será utilizado decibelímetro, de maneira que, em hipótese alguma, os avaliadores sejam submetidos a níveis superiores a 85 dB. (Conforme Anexo 1 da Norma Regulamentadora N°15). Em caso de desconforto, será acionado o SAMU local.

5b) Benefícios: O experimento permitirá que seja compilada uma base de dados de sinais de áudios de referência e degradados que poderá ser utilizada em diferentes experimentos científicos. Aplicações da base de dados incluem: avaliação de qualidade de serviços de telecomunicações, avaliação de qualidade de áudio de equipamentos comerciais, sistemas de alta fidelidade, aparelhos auditivos, entre outros. Além disso, mais diretamente, possibilitará uma melhora da qualidade de áudio nas telecomunicações aeronáuticas.

6. Critérios de inclusão e exclusão.

6a) Inclusão: Controladores de voo ou colaboradores do CINDACTA II, com fluência em inglês e português, na faixa etária de 18 a 45 anos, sendo 50% do sexo feminino e 50% do sexo masculino, que passaram por inspeção de saúde oficial do Comando da Aeronáutica e que apresentem situação de aptidão para a atividade de controle de tráfego aéreo. Estas pessoas, para serem julgadas aptas ao controle de tráfego aéreo precisam apresentar perfeitas condições de saúde física e psicológica, não podem apresentar problemas de dicção ou audição.

6b) Exclusão: Pessoas que atestarem, no questionário preliminar à avaliação, que embora tenham avaliação de junta de saúde favorável, estejam, na data de realização da sessão de avaliação, formalmente afastadas do serviço de controle de tráfego aéreo; e pessoas que registrem no questionário que tenham participado de avaliações subjetivas de qualidade de áudio nos últimos 6 meses

7. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.

O participante poderá deixar o estudo a qualquer momento, bem como receber esclarecimentos em qualquer etapa da pesquisa. Poderá, outrossim, evidenciar a liberdade de recusar ou retirar o seu consentimento a qualquer momento sem penalização.

Declaro que:

() quero receber os resultados da pesquisa

(email para envio : _____)

() não quero receber os resultados da pesquisa

8. Ressarcimento e indenização.

O participante fica ciente de que para qualquer despesa decorrente da participação na pesquisa, haverá ressarcimento. De igual maneira, caso ocorra algum dano decorrente da minha participação no estudo, serei devidamente indenizado, conforme determina a Resolução 466/12.

ESCLARECIMENTOS SOBRE O COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA:

O Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (CEP) é constituído por uma equipe de profissionais com formação multidisciplinar que está trabalhando para assegurar o respeito aos seus direitos como participante de pesquisa. Ele tem por objetivo avaliar se a pesquisa foi planejada e se será executada de forma ética. Se você considerar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você foi informado ou que você está sendo prejudicado de alguma forma, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR).

Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Bairro Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR,

Telefone: (41) 3310-4494, **e-mail:** coep@utfpr.edu.br.

B) CONSENTIMENTO

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação direta (ou indireta) na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos, benefícios, ressarcimento e indenização relacionados a este estudo.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo, permitindo que os pesquisadores relacionados neste documento obtenham **fotografia ou filmagem** de minha pessoa para fins de pesquisa científica/ educacional. As fotografias, vídeos e gravações ficarão sob a propriedade do grupo de pesquisadores pertinentes ao estudo e sob sua guarda.

Concordo que o material e as informações obtidas relacionadas a minha pessoa possam ser publicados em aulas, congressos, eventos científicos, palestras ou periódicos científicos. Porém, não devo ser identificado por nome ou qualquer outra forma

Estou consciente que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo. Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo.

Nome Completo: _____

RG: _____ Data de Nascimento: ____/____/____

Telefones: _____/_____

Endereço: _____

CEP: _____ Cidade: _____ Estado: _____

Assinatura: _____

Data: ____/____/____

Eu declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

Nome completo: RODRIGO LUIZ FRIGOTTO

Assinatura pesquisador (a):

Data: ____/____/____

Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar do mesmo, poderão se comunicar com Rodrigo, via e-mail: rodrigorf@cindacta2.gov.br ou telefone: (41) 3251-5468 / (41) 99957-7755.

Contato do Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos para denúncia, recurso ou reclamações do participante pesquisado:

Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR)

Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR,

Telefone: 3310-4494, **E-mail:** coep@utfpr.edu.br

OBS: este documento deve conter 2 (duas) vias iguais, sendo uma pertencente ao pesquisador e outra ao participante da pesquisa.

ANEXO E – FORMULÁRIOS DE ACOMPANHAMENTO DE GRAVAÇÃO

Anexo III – FICHA DE ACOMPANHAMENTO DE GRAVAÇÃO – LOCUTOR 02 – Página 1/2

Data: _____

Nome: _____

Observações

LISTA A	Grupo	Repetir ?
Fritou a galinha na banha	G 5	
A comida está na mesa		
Quebrou o coco com as mãos		
O carneiro estava delicioso	G 6	
O aparelho não funcionava		
Seu depoimento foi fundamental		
A barragem se rompeu na madrugada	G 7	
Seus métodos o contradiziam		
Era relativamente pobre		
O acesso estava interditado	G 8	
O texto foi elaborado por especialistas		
Era reconhecido pela gastronomia		
Era portador de boas notícias	G 35	
Havia vida no novo mundo		
Agia com coerência e bondade		
A cortina era azul escuro.	G 36	
Seu cúmplice a abandonou		
As flores enchiam o jardim		
LISTA B		
Western people eat too much meat.	G 56	
His was lying when he gave the statement		
The movie was amazing.		
Honey is good for the skin	G 57	
There was a sharp increase in crime		
Before sleep, she prayed		
It was his first day at his new job	G 58	
Try to ask your boss about your vacations		
She was called late that night		
He was told to stay outside of the house	G 59	
She had ice-cold lemonade.		
There were no streets in the village		
She opened the envelope and smiled	G 86	
Some of these songs are sad		
The criminal acted methodically		
Carnival in Bahia lasts two months	G 87	
The book has two-hundred pages		
Depression is a sad disease		

Anexo III – FICHA DE ACOMPANHAMENTO DE GRAVAÇÃO – LOCUTOR 02 – Página 2/2

LISTA C	Grupo	Repetir?
Confirme proa azul cinco quatro seis zero	G 105	
Mantenha proa uno nove zero		
Proa três seis zero vinte milhas		
Gol cinco dois três cinco	G 106	
uno uno três quatro autorizado quatro uno zero		
Após nível dois nove zero usar critério		
LISTA D		
The wind is calm	G 121	
Winds three-four-zero at one-zero		
Climb and maintain twelve thousand		
Contact ground on one-two-one decimal four	G 122	
Clear to take off		
join the final approach course		

ANEXO F – RESULTADOS DE PRÉ-PROCESSAMENTO DOS ÁUDIOS

Legenda de tipos:

P - frases de padrão ITU, em português; E - frases de padrão ITU, em inglês; AP - frases de ATC, em português; AE - frases de ATC, em inglês;

Legenda de nome de arquivos:

F - voz masculina M - voz feminina

Número após tipo de voz apresenta a identificação do locutor

Resultado do Pré-processamento dos Audios Gravados

Arquivo Pré-processado (Normalizado)				Arquivo original				Tipo
Arquivo	Ganho	Arquivo Normaliz	Nível dBov	Arquivo	% Ativ.	Ganho dBov	DurAt	
F1.01_02.wav	1.32	F1.01_02norm.raw	-26,026	F1.01_02.wav	50.94	-28	1,969	p
F1.01_04.wav	1.19	F1.01_04norm.raw	-26,003	F1.01_04.wav	48.11	-28	1,812	p
F1.01_05.wav	1.52	F1.01_05norm.raw	-26,017	F1.01_05.wav	43.17	-30	1,516	p
F1.01_07.wav	1.48	F1.01_07norm.raw	-26,03	F1.01_07.wav	50.23	-29	2,012	p
F1.01_11.wav	1.49	F1.01_11norm.raw	-26,015	F1.01_11.wav	47.60	-29	1,736	p
F1.01_13.wav	1.24	F1.01_13norm.raw	-26,009	F1.01_13.wav	50.78	-28	1,899	p
F1.01_15.wav	1.18	F1.01_15norm.raw	-26,003	F1.01_15.wav	50.03	-27	1,861	p
F1.01_16.wav	1.28	F1.01_16norm.raw	-26,017	F1.01_16.wav	47.95	-28	1,695	e
F1.01_17.wav	1.13	F1.01_17norm.raw	-26,009	F1.01_17.wav	45.79	-27	1,587	e
F1.01_18.wav	1.28	F1.01_18norm.raw	-25,991	F1.01_18.wav	44.92	-28	1,689	e
F1.01_19.wav	1.18	F1.01_19norm.raw	-26,003	F1.01_19.wav	49.12	-27	2,019	e
F1.01_20.wav	1.43	F1.01_20norm.raw	-26,015	F1.01_20.wav	47.52	-29	1,694	e
F1.01_21.wav	1.18	F1.01_21norm.raw	-26,004	F1.01_21.wav	53.84	-27	2,239	e
F1.01_22.wav	1.19	F1.01_22norm.raw	-26,004	F1.01_22.wav	48.50	-28	1,745	e
F1.01_23.wav	1.0	F1.01_23norm.raw	-26,002	F1.01_23.wav	45.8	-26	1,649	e
F1.01_26.wav	1.49	F1.01_26norm.raw	-26,077	F1.01_26.wav	48.29	-30	1,766	e
F1.01_28.wav	1.23	F1.01_28norm.raw	-26,011	F1.01_28.wav	50.32	-28	1,872	e
F1.01_30.wav	0.87	F1.01_30norm.raw	-26,032	F1.01_30.wav	45.83	-25	1,659	e
F1.01_31.wav	1.05	F1.01_31norm.raw	-26,008	F1.01_31.wav	53.06	-26	2,130	e
F1.01_32.wav	1.09	F1.01_32norm.raw	-26,003	F1.01_32.wav	54.51	-27	2,303	e
F1.01_34.wav	1.18	F1.01_34norm.raw	-26,002	F1.01_34.wav	56.09	-27	2,462	e
F1.01_35.wav	1.10	F1.01_35norm.raw	-26,004	F1.01_35.wav	51.24	-27	1,965	e
F1.01_36.wav	0.93	F1.01_36norm.raw	-26,01	F1.01_36.wav	56.57	-25	2,490	ap
F1.01_37.wav	0.99	F1.01_37norm.raw	-26,001	F1.01_37.wav	56.42	-26	2,390	ap
F1.01_38.wav	0.98	F1.01_38norm.raw	-25,999	F1.01_38.wav	54.78	-26	2,319	ap
F1.01_39.wav	1.0	F1.01_39norm.raw	-26,004	F1.01_39.wav	42.9	-26	1,506	ap
F1.01_40.wav	1.03	F1.01_40norm.raw	-26,007	F1.01_40.wav	50.33	-26	1,914	ap
F1.01_41.wav	1.06	F1.01_41norm.raw	-26,009	F1.01_41.wav	61.18	-27	3,010	ap
F1.01_43.wav	0.95	F1.01_43norm.raw	-26,013	F1.01_43.wav	48.99	-26	1,843	ae
F1.01_44.wav	0.97	F1.01_44norm.raw	-25,997	F1.01_44.wav	50.43	-26	1,936	ae
F1.01_45.wav	0.8	F1.01_45norm.raw	-26,009	F1.01_45.wav	53.3	-25	2,242	ae
F1.01_47.wav	0.98	F1.01_47norm.raw	-25,998	F1.01_47.wav	46.92	-26	1,722	ae
F1.01_48.wav	1.28	F1.01_48norm.raw	-26,017	F1.01_48.wav	47.95	-28	1,695	p
F2.01_02.wav	1.24	F2.01_02norm.raw	-26,009	F2.01_02.wav	57.68	-28	2,497	p
F2.01_03.wav	1.29	F2.01_03norm.raw	-26,029	F2.01_03.wav	53.53	-28	2,180	p
F2.01_04.wav	0.98	F2.01_04norm.raw	-25,999	F2.01_04.wav	54.98	-26	2,415	p
F2.01_05.wav	1.04	F2.01_05norm.raw	-26,012	F2.01_05.wav	55.99	-26	2,488	p
F2.01_06.wav	0.93	F2.01_06norm.raw	-26,011	F2.01_06.wav	57.67	-25	2,602	p
F2.01_07.wav	0.97	F2.01_07norm.raw	-25,998	F2.01_07.wav	55.20	-26	2,321	p
F2.01_08.wav	0.70	F2.01_08norm.raw	-26,006	F2.01_08.wav	46.62	-23	1,697	p
F2.01_09.wav	1.15	F2.01_09norm.raw	-26	F2.01_09.wav	60.84	-27	3,040	p
F2.01_10.wav	1.03	F2.01_10norm.raw	-26,006	F2.01_10.wav	52.49	-26	2,206	p
F2.01_11.wav	1.14	F2.01_11norm.raw	-26,011	F2.01_11.wav	54.82	-27	2,311	p
F2.01_12.wav	1.10	F2.01_12norm.raw	-26,006	F2.01_12.wav	56.93	-27	2,515	p
F2.01_13.wav	0.97	F2.01_13norm.raw	-25,996	F2.01_13.wav	57.20	-26	2,562	p
F2.01_14.wav	0.81	F2.01_14norm.raw	-26,158	F2.01_14.wav	47.41	-24	1,872	p
F2.01_15.wav	1.38	F2.01_15norm.raw	-26,001	F2.01_15.wav	51.57	-29	2,094	p
F2.01_16.wav	0.88	F2.01_16norm.raw	-26,014	F2.01_16.wav	54.55	-25	2,264	p
F2.01_17.wav	1.08	F2.01_17norm.raw	-26,016	F2.01_17.wav	50.72	-27	1,990	p
F2.01_18.wav	1.12	F2.01_18norm.raw	-26,009	F2.01_18.wav	57.31	-27	2,563	p
F2.01_19.wav	0.89	F2.01_19norm.raw	-26,012	F2.01_19.wav	48.41	-25	2,063	e
F2.01_20.wav	1.09	F2.01_20norm.raw	-26,002	F2.01_20.wav	55.23	-27	2,349	e
F2.01_21.wav	1.04	F2.01_21norm.raw	-26,007	F2.01_21.wav	52.96	-26	2,171	e
F2.01_22.wav	0.81	F2.01_22norm.raw	-26,013	F2.01_22.wav	47.44	-24	1,881	e
F2.01_23.wav	1.09	F2.01_23norm.raw	-26,003	F2.01_23.wav	54.53	-27	2,298	e
F2.01_24.wav	0.90	F2.01_24norm.raw	-26,009	F2.01_24.wav	53.49	-25	2,369	e
F2.01_25.wav	1.06	F2.01_25norm.raw	-26,006	F2.01_25.wav	61.92	-27	3,377	e
F2.01_26.wav	1.08	F2.01_26norm.raw	-26,023	F2.01_26.wav	45.26	-27	1,668	e
F2.01_27.wav	1.08	F2.01_27norm.raw	-26,023	F2.01_27.wav	50.49	-27	2,140	e
F2.01_28.wav	0.85	F2.01_28norm.raw	-26,013	F2.01_28.wav	54.77	-25	2,357	e
F2.01_29.wav	0.99	F2.01_29norm.raw	-26,001	F2.01_29.wav	61.43	-26	2,987	e
F2.01_30.wav	1.27	F2.01_30norm.raw	-26,012	F2.01_30.wav	48.49	-28	1,954	e
F2.01_31.wav	1.02	F2.01_31norm.raw	-26,005	F2.01_31.wav	58.19	-26	2,738	e
F2.01_32.wav	0.85	F2.01_32norm.raw	-26,004	F2.01_32.wav	50.22	-25	2,022	e
F2.01_33.wav	0.83	F2.01_33norm.raw	-26,006	F2.01_33.wav	55.39	-24	2,575	e
F2.01_34.wav	0.87	F2.01_34norm.raw	-26,031	F2.01_34.wav	56.59	-25	2,601	e
F2.01_35.wav	0.88	F2.01_35norm.raw	-26,015	F2.01_35.wav	50.65	-25	2,079	e
F2.01_36.wav	0.97	F2.01_36norm.raw	-25,997	F2.01_36.wav	51.65	-26	2,121	e

Resultado do Pré-processamento dos Audios Gravados

F2.01_37.wav	1.00	F2.01_37norm.raw	-26,002	F2.01_37.wav	59.82	-26	3,007	ap
F2.01_38.wav	1.23	F2.01_38norm.raw	-26,009	F2.01_38.wav	57.00	-28	2,570	ap
F2.01_39.wav	0.97	F2.01_39norm.raw	-25,998	F2.01_39.wav	59.74	-26	2,906	ap
F2.01_40.wav	0.72	F2.01_40norm.raw	-26,026	F2.01_40.wav	55.64	-23	2,475	ap
F2.01_41.wav	0.98	F2.01_41norm.raw	-26	F2.01_41.wav	64.00	-26	3,479	ap
F2.01_42.wav	1.02	F2.01_42norm.raw	-26,006	F2.01_42.wav	51.91	-26	2,144	ap
F2.01_43.wav	0.88	F2.01_43norm.raw	-26,01	F2.01_43.wav	54.79	-25	2,453	ae
F2.01_44.wav	0.87	F2.01_44norm.raw	-26,009	F2.01_44.wav	40.73	-25	1,522	ae
F2.01_45.wav	0.93	F2.01_45norm.raw	-26,006	F2.01_45.wav	55.51	-25	2,468	ae
F2.01_46.wav	0.85	F2.01_46norm.raw	-26,014	F2.01_46.wav	56.95	-25	2,514	ae
F2.01_47.wav	0.79	F2.01_47norm.raw	-26	F2.01_47.wav	61.66	-24	3,198	ae
F2.01_48.wav	0.79	F2.01_48norm.raw	-26,001	F2.01_48.wav	46.05	-24	1,749	ae
F3.01_02.wav	0.8	F3.01_02norm.raw	-26,007	F3.01_02.wav	47.3	-25	1,661	p
F3.01_03.wav	0.7	F3.01_03norm.raw	-25,969	F3.01_03.wav	46.3	-24	1,751	p
F3.01_04.wav	0.6	F3.01_04norm.raw	-26,006	F3.01_04.wav	45.9	-23	1,701	p
F3.01_05.wav	0.8	F3.01_05norm.raw	-26,011	F3.01_05.wav	50.3	-25	1,931	p
F3.01_06.wav	1.0	F3.01_06norm.raw	-26,015	F3.01_06.wav	45.8	-27	1,706	p
F3.01_07.wav	0.8	F3.01_07norm.raw	-25,999	F3.01_07.wav	43.8	-24	1,535	p
F3.01_08.wav	0.92	F3.01_08norm.raw	-25,991	F3.01_08.wav	48.18	-25	1,873	p
F3.01_09.wav	0.7	F3.01_09norm.raw	-25,996	F3.01_09.wav	49.3	-24	1,867	p
F3.01_10.wav	0.8	F3.01_10norm.raw	-26,008	F3.01_10.wav	56.0	-25	2,561	p
F3.01_11.wav	0.8	F3.01_11norm.raw	-26,045	F3.01_11.wav	47.1	-25	1,745	p
F3.01_12.wav	0.8	F3.01_12norm.raw	-26,049	F3.01_12.wav	50.3	-24	1,997	p
F3.01_13.wav	0.7	F3.01_13norm.raw	-26,009	F3.01_13.wav	49.7	-23	1,875	p
F3.01_14.wav	0.8	F3.01_14norm.raw	-25,996	F3.01_14.wav	45.8	-24	1,854	p
F3.01_15.wav	0.7	F3.01_15norm.raw	-25,996	F3.01_15.wav	52.5	-24	2,140	p
F3.01_16.wav	0.88	F3.01_16norm.raw	-25,831	F3.01_16.wav	54.55	-25	2,432	p
F3.01_17.wav	0.8	F3.01_17norm.raw	-26,007	F3.01_17.wav	44.6	-24	1,643	p
F3.01_18.wav	0.8	F3.01_18norm.raw	-26	F3.01_18.wav	53.6	-24	2,335	p
F3.01_19.wav	1.03	F3.01_19norm.raw	-26,006	F3.01_19.wav	56.17	-26	2,607	e
F3.01_20.wav	1.0	F3.01_20norm.raw	-26,007	F3.01_20.wav	59.9	-26	2,866	e
F3.01_21.wav	0.99	F3.01_21norm.raw	-26	F3.01_21.wav	53.47	-26	2,305	e
F3.01_22.wav	0.9	F3.01_22norm.raw	-26,006	F3.01_22.wav	48.7	-26	1,937	e
F3.01_23.wav	1.15	F3.01_23norm.raw	-26	F3.01_23.wav	57.09	-27	2,504	e
F3.01_24.wav	0.9	F3.01_24norm.raw	-26,007	F3.01_24.wav	54.0	-25	2,362	e
F3.01_25.wav	0.7	F3.01_25norm.raw	-26,015	F3.01_25.wav	50.3	-23	1,982	e
F3.01_26.wav	0.9	F3.01_26norm.raw	-26,016	F3.01_26.wav	60.8	-26	3,419	e
F3.01_27.wav	0.8	F3.01_27norm.raw	-26,006	F3.01_27.wav	50.3	-25	2,105	e
F3.01_28.wav	1.04	F3.01_28norm.raw	-26,008	F3.01_28.wav	52.60	-26	2,148	e
F3.01_29.wav	0.8	F3.01_29norm.raw	-26,014	F3.01_29.wav	53.9	-25	2,293	e
F3.01_30.wav	0.89	F3.01_30norm.raw	-26,019	F3.01_30.wav	58.58	-25	2,841	e
F3.01_31.wav	0.8	F3.01_31norm.raw	-26,024	F3.01_31.wav	53.7	-25	2,281	e
F3.01_32.wav	1.1	F3.01_32norm.raw	-26,009	F3.01_32.wav	43.4	-27	1,588	e
F3.01_33.wav	1.17	F3.01_33norm.raw	-26	F3.01_33.wav	48.20	-27	1,858	e
F3.01_34.wav	0.82	F3.01_34norm.raw	-26,066	F3.01_34.wav	54.74	-24	2,469	e
F3.01_35.wav	0.8	F3.01_35norm.raw	-26,008	F3.01_35.wav	55.5	-25	2,572	e
F3.01_36.wav	0.8	F3.01_36norm.raw	-26,008	F3.01_36.wav	48.3	-25	1,841	e
F3.01_37.wav	0.8	F3.01_37norm.raw	-25,999	F3.01_37.wav	55.6	-24	2,490	ap
F3.01_38.wav	0.95	F3.01_38norm.raw	-26,011	F3.01_38.wav	48.58	-26	1,838	ap
F3.01_39.wav	0.8	F3.01_39norm.raw	-26,017	F3.01_39.wav	52.1	-25	2,219	ap
F3.01_40.wav	0.8	F3.01_40norm.raw	-25,926	F3.01_40.wav	56.4	-24	2,898	ap
F3.01_41.wav	0.80	F3.01_41norm.raw	-26,015	F3.01_41.wav	55.01	-24	2,432	ap
F3.01_42.wav	0.8	F3.01_42norm.raw	-26,012	F3.01_42.wav	53.6	-25	2,467	ap
F3.01_43.wav	0.7	F3.01_43norm.raw	-25,995	F3.01_43.wav	47.0	-24	1,742	ae
F3.01_44.wav	1.13	F3.01_44norm.raw	-26,006	F3.01_44.wav	47.54	-27	1,960	ae
F3.01_45.wav	0.8	F3.01_45norm.raw	-26,008	F3.01_45.wav	52.1	-24	2,224	ae
F3.01_46.wav	0.8	F3.01_46norm.raw	-26,025	F3.01_46.wav	54.3	-25	2,398	ae
F3.01_47.wav	0.8	F3.01_47norm.raw	-26,03	F3.01_47.wav	58.8	-25	2,830	ae
F3.01_48.wav	0.9	F3.01_48norm.raw	-25,994	F3.01_48.wav	50.7	-26	2,118	ae
F4.01_03.wav	1.1	F4.01_03norm.raw	-25,996	F4.01_03.wav	44.3	-27	1,597	p
F4.01_04.wav	0.92	F4.01_04norm.raw	-26,005	F4.01_04.wav	46.08	-25	1,615	p
F4.01_05.wav	1.1	F4.01_05norm.raw	-26,01	F4.01_05.wav	51.5	-27	2,063	p
F4.01_06.wav	1.21	F4.01_06norm.raw	-26,007	F4.01_06.wav	50.91	-28	1,937	p
F4.01_07.wav	0.9	F4.01_07norm.raw	-25,998	F4.01_07.wav	52.6	-26	2,069	p
F4.01_09.wav	1.09	F4.01_09norm.raw	-26,003	F4.01_09.wav	54.51	-27	2,200	p
F4.01_10.wav	1.07	F4.01_10norm.raw	-26,011	F4.01_10.wav	51.77	-27	1,958	p
F4.01_11.wav	1.0	F4.01_11norm.raw	-26,006	F4.01_11.wav	52.9	-26	2,144	p
F4.01_12.wav	1.2	F4.01_12norm.raw	-26,024	F4.01_12.wav	44.3	-28	1,502	p
F4.01_13.wav	0.9	F4.01_13norm.raw	-26	F4.01_13.wav	50.1	-26	1,914	p
F4.01_14.wav	1.0	F4.01_14norm.raw	-26,014	F4.01_14.wav	44.7	-26	1,529	p
F4.01_15.wav	1.1	F4.01_15norm.raw	-26,037	F4.01_15.wav	53.0	-28	2,189	p

Resultado do Pré-processamento dos Audios Gravados

F4.01_16.wav	0.98	F4.01_16norm.raw	-25,999	F4.01_16.wav	46.48	-26	1,670	p
F4.01_17.wav	0.97	F4.01_17norm.raw	-25,998	F4.01_17.wav	53.69	-26	2,204	p
F4.01_18.wav	0.92	F4.01_18norm.raw	-26,01	F4.01_18.wav	50.72	-25	1,973	p
F4.01_19.wav	1.23	F4.01_19norm.raw	-26,013	F4.01_19.wav	48.29	-28	1,770	e
F4.01_20.wav	1.39	F4.01_20norm.raw	-26,001	F4.01_20.wav	52.87	-29	2,089	e
F4.01_21.wav	1.45	F4.01_21norm.raw	-26,041	F4.01_21.wav	51.31	-29	2,057	e
F4.01_22.wav	1.46	F4.01_22norm.raw	-26,006	F4.01_22.wav	52.71	-29	2,209	e
F4.01_23.wav	1.27	F4.01_23norm.raw	-26,01	F4.01_23.wav	55.97	-28	2,350	e
F4.01_24.wav	1.1	F4.01_24norm.raw	-26,184	F4.01_24.wav	45.1	-27	1,598	e
F4.01_25.wav	1.21	F4.01_25norm.raw	-26,017	F4.01_25.wav	44.97	-28	1,559	e
F4.01_26.wav	1.49	F4.01_26norm.raw	-26,063	F4.01_26.wav	49.33	-30	2,121	e
F4.01_28.wav	1.32	F4.01_28norm.raw	-26,036	F4.01_28.wav	46.30	-28	1,667	e
F4.01_30.wav	1.38	F4.01_30norm.raw	-26,001	F4.01_30.wav	44.93	-29	1,590	e
F4.01_31.wav	1.51	F4.01_31norm.raw	-26,013	F4.01_31.wav	46.92	-30	1,755	e
F4.01_33.wav	1.55	F4.01_33norm.raw	-25,996	F4.01_33.wav	59.52	-30	2,738	e
F4.01_34.wav	1.24	F4.01_34norm.raw	-26,013	F4.01_34.wav	49.72	-28	1,917	e
F4.01_35.wav	1.58	F4.01_35norm.raw	-25,924	F4.01_35.wav	50.54	-30	2,091	e
F4.01_36.wav	1.20	F4.01_36norm.raw	-26,006	F4.01_36.wav	51.92	-28	2,068	e
F4.01_37.wav	1.3	F4.01_37norm.raw	-26,058	F4.01_37.wav	54.3	-28	2,353	e
F4.01_38.wav	1.64	F4.01_38norm.raw	-26	F4.01_38.wav	53.00	-30	2,014	ap
F4.01_39.wav	1.64	F4.01_39norm.raw	-26,004	F4.01_39.wav	56.09	-30	2,383	ap
F4.01_42.wav	1.63	F4.01_42norm.raw	-25,999	F4.01_42.wav	45.41	-30	1,543	ap
F4.01_43.wav	1.32	F4.01_43norm.raw	-26,025	F4.01_43.wav	59.92	-28	2,989	ap
F4.01_44.wav	1.3	F4.01_44norm.raw	-26,027	F4.01_44.wav	45.1	-28	1,562	ae
F4.01_46.wav	1.53	F4.01_46norm.raw	-26,013	F4.01_46.wav	53.41	-30	2,188	ae
F4.01_47.wav	1.52	F4.01_47norm.raw	-26,013	F4.01_47.wav	52.55	-30	2,152	ae
F4.01_48.wav	1.57	F4.01_48norm.raw	-25,994	F4.01_48.wav	54.82	-30	2,190	ae
M1.01_02.wav	1.13	M1.01_02norm.raw	-26,007	M1.01_02.wav	51.32	-27	1,944	p
M1.01_03.wav	1.34	M1.01_03norm.raw	-26,037	M1.01_03.wav	44.81	-29	1,524	p
M1.01_05.wav	0.90	M1.01_05norm.raw	-26,014	M1.01_05.wav	42.03	-25	1,572	p
M1.01_06.wav	1.06	M1.01_06norm.raw	-26,017	M1.01_06.wav	45.52	-27	1,607	p
M1.01_09.wav	0.9	M1.01_09norm.raw	-26,029	M1.01_09.wav	50.3	-26	2,019	p
M1.01_10.wav	0.92	M1.01_10norm.raw	-26,062	M1.01_10.wav	43.28	-25	1,516	p
M1.01_11.wav	1.00	M1.01_11norm.raw	-26,003	M1.01_11.wav	44.85	-26	1,524	p
M1.01_12.wav	0.99	M1.01_12norm.raw	-26	M1.01_12.wav	46.39	-26	1,674	p
M1.01_13.wav	1.12	M1.01_13norm.raw	-26,022	M1.01_13.wav	43.96	-27	1,526	p
M1.01_14.wav	1.04	M1.01_14norm.raw	-26,012	M1.01_14.wav	47.48	-26	1,749	p
M1.01_15.wav	0.8	M1.01_15norm.raw	-26,005	M1.01_15.wav	44.7	-25	1,705	p
M1.01_16.wav	0.96	M1.01_16norm.raw	-26,015	M1.01_16.wav	45.16	-26	1,657	p
M1.01_17.wav	0.92	M1.01_17norm.raw	-26,007	M1.01_17.wav	43.57	-25	1,612	p
M1.01_18.wav	1.00	M1.01_18norm.raw	-26,002	M1.01_18.wav	49.54	-26	1,951	p
M1.01_19.wav	0.89	M1.01_19norm.raw	-26,033	M1.01_19.wav	43.17	-25	1,542	e
M1.01_20.wav	1.24	M1.01_20norm.raw	-26,008	M1.01_20.wav	45.77	-28	1,724	e
M1.01_21.wav	1.15	M1.01_21norm.raw	-26,009	M1.01_21.wav	58.12	-27	2,681	e
M1.01_23.wav	1.04	M1.01_23norm.raw	-26,006	M1.01_23.wav	54.41	-26	2,254	e
M1.01_24.wav	1.00	M1.01_24norm.raw	-26,002	M1.01_24.wav	47.50	-26	1,722	e
M1.01_27.wav	1.11	M1.01_27norm.raw	-26,006	M1.01_27.wav	53.82	-27	2,323	e
M1.01_29.wav	0.8	M1.01_29norm.raw	-25,821	M1.01_29.wav	54.8	-24	2,407	e
M1.01_32.wav	0.8	M1.01_32norm.raw	-26,029	M1.01_32.wav	46.2	-25	1,709	e
M1.01_33.wav	0.8	M1.01_33norm.raw	-26,017	M1.01_33.wav	42.9	-25	1,651	e
M1.01_34.wav	1.11	M1.01_34norm.raw	-26,005	M1.01_34.wav	50.86	-27	2,105	e
M1.01_36.wav	1.10	M1.01_36norm.raw	-26,004	M1.01_36.wav	50.07	-27	2,037	e
M1.01_37.wav	0.6	M1.01_37norm.raw	-26,029	M1.01_37.wav	47.6	-22	1,809	ap
M1.01_38.wav	0.97	M1.01_38norm.raw	-25,994	M1.01_38.wav	46.60	-26	1,727	ap
M1.01_40.wav	0.9	M1.01_40norm.raw	-26,071	M1.01_40.wav	58.3	-25	2,803	ap
M1.01_41.wav	0.95	M1.01_41norm.raw	-26,009	M1.01_41.wav	47.73	-26	1,894	ap
M1.01_42.wav	0.96	M1.01_42norm.raw	-26,011	M1.01_42.wav	63.53	-26	3,371	ap
M1.01_43.wav	1.00	M1.01_43norm.raw	-26,002	M1.01_43.wav	45.49	-26	1,645	ae
M1.01_44.wav	1.05	M1.01_44norm.raw	-26,011	M1.01_44.wav	47.57	-26	1,796	ae
M1.01_45.wav	0.91	M1.01_45norm.raw	-26,026	M1.01_45.wav	53.87	-25	2,668	ae
M1.01_46.wav	1.05	M1.01_46norm.raw	-26,01	M1.01_46.wav	51.47	-26	2,050	ae
M1.01_47.wav	1.00	M1.01_47norm.raw	-26,002	M1.01_47.wav	49.64	-26	2,162	ae
M1.01_48.wav	1.16	M1.01_48norm.raw	-26,012	M1.01_48.wav	55.39	-27	2,493	ae
M2.01_02.wav	1.09	M2.01_02norm.raw	-26,003	M2.01_02.wav	50.46	-27	2,008	p
M2.01_03.wav	1.21	M2.01_03norm.raw	-26,006	M2.01_03.wav	47.82	-28	1,851	p
M2.01_04.wav	1.01	M2.01_04norm.raw	-26,005	M2.01_04.wav	45.05	-26	1,706	p
M2.01_05.wav	1.28	M2.01_05norm.raw	-26,028	M2.01_05.wav	49.41	-28	1,897	p
M2.01_06.wav	0.93	M2.01_06norm.raw	-26,002	M2.01_06.wav	45.58	-25	1,677	p
M2.01_07.wav	0.80	M2.01_07norm.raw	-25,996	M2.01_07.wav	46.22	-24	1,713	p
M2.01_08.wav	0.85	M2.01_08norm.raw	-26,006	M2.01_08.wav	48.72	-25	1,836	p
M2.01_09.wav	0.8	M2.01_09norm.raw	-26,006	M2.01_09.wav	52.0	-25	2,213	p

Resultado do Pré-processamento dos Audios Gravados

M2.01_10.wav	1.10	M2.01_10norm.raw	-26,005	M2.01_10.wav	53.44	-27	2,285	p
M2.01_13.wav	1.11	M2.01_13norm.raw	-26,012	M2.01_13.wav	50.49	-27	2,122	p
M2.01_14.wav	1.12	M2.01_14norm.raw	-26,006	M2.01_14.wav	52.48	-27	2,156	p
M2.01_15.wav	1.18	M2.01_15norm.raw	-26	M2.01_15.wav	46.30	-27	1,661	p
M2.01_16.wav	0.99	M2.01_16norm.raw	-25,995	M2.01_16.wav	49.08	-26	1,990	p
M2.01_17.wav	1.18	M2.01_17norm.raw	-26,001	M2.01_17.wav	49.43	-27	1,889	p
M2.01_18.wav	1.19	M2.01_18norm.raw	-25,918	M2.01_18.wav	44.96	-28	1,670	p
M2.01_19.wav	0.87	M2.01_19norm.raw	-26,065	M2.01_19.wav	54.87	-25	2,404	e
M2.01_20.wav	0.85	M2.01_20norm.raw	-26,014	M2.01_20.wav	46.69	-25	1,693	e
M2.01_21.wav	1.00	M2.01_21norm.raw	-26,005	M2.01_21.wav	51.18	-26	2,092	e
M2.01_22.wav	0.86	M2.01_22norm.raw	-26,008	M2.01_22.wav	45.84	-25	1,686	e
M2.01_23.wav	0.8	M2.01_23norm.raw	-26,013	M2.01_23.wav	46.1	-25	1,758	e
M2.01_24.wav	1.20	M2.01_24norm.raw	-26,006	M2.01_24.wav	45.74	-28	1,644	e
M2.01_25.wav	1.05	M2.01_25norm.raw	-26,011	M2.01_25.wav	49.74	-26	1,893	e
M2.01_26.wav	0.98	M2.01_26norm.raw	-25,995	M2.01_26.wav	46.43	-26	1,739	e
M2.01_27.wav	1.24	M2.01_27norm.raw	-26,023	M2.01_27.wav	54.49	-28	2,505	e
M2.01_28.wav	1.02	M2.01_28norm.raw	-26,006	M2.01_28.wav	49.68	-26	1,947	e
M2.01_29.wav	1.11	M2.01_29norm.raw	-26,003	M2.01_29.wav	48.06	-27	1,857	e
M2.01_30.wav	1.17	M2.01_30norm.raw	-25,944	M2.01_30.wav	51.34	-27	2,485	e
M2.01_31.wav	1.08	M2.01_31norm.raw	-26,025	M2.01_31.wav	45.99	-27	1,721	e
M2.01_32.wav	1.11	M2.01_32norm.raw	-26,007	M2.01_32.wav	57.30	-27	2,790	e
M2.01_33.wav	1.09	M2.01_33norm.raw	-26,003	M2.01_33.wav	52.19	-27	2,173	e
M2.01_34.wav	1.06	M2.01_34norm.raw	-26,01	M2.01_34.wav	53.34	-27	2,241	e
M2.01_35.wav	1.31	M2.01_35norm.raw	-26,026	M2.01_35.wav	44.92	-28	1,584	e
M2.01_36.wav	0.95	M2.01_36norm.raw	-26,053	M2.01_36.wav	45.65	-26	1,648	e
M2.01_37.wav	0.95	M2.01_37norm.raw	-26,01	M2.01_37.wav	53.19	-26	2,200	ap
M2.01_38.wav	0.90	M2.01_38norm.raw	-26,013	M2.01_38.wav	62.83	-25	3,257	ap
M2.01_39.wav	0.99	M2.01_39norm.raw	-26,001	M2.01_39.wav	58.69	-26	2,758	ap
M2.01_40.wav	1.07	M2.01_40norm.raw	-26,163	M2.01_40.wav	55.38	-27	2,552	ap
M2.01_41.wav	1.02	M2.01_41norm.raw	-26,004	M2.01_41.wav	62.00	-26	3,112	ap
M2.01_42.wav	1.01	M2.01_42norm.raw	-26,003	M2.01_42.wav	56.72	-26	2,757	ap
M2.01_43.wav	0.90	M2.01_43norm.raw	-26,019	M2.01_43.wav	46.83	-25	1,688	ae
M2.01_44.wav	0.79	M2.01_44norm.raw	-25,994	M2.01_44.wav	43.41	-24	1,573	ae
M2.01_45.wav	1.00	M2.01_45norm.raw	-26,002	M2.01_45.wav	47.02	-26	1,750	ae
M2.01_46.wav	1.27	M2.01_46norm.raw	-26,048	M2.01_46.wav	49.60	-28	1,953	ae
M2.01_47.wav	1.17	M2.01_47norm.raw	-26,001	M2.01_47.wav	55.26	-27	2,522	ae
M2.01_48.wav	1.11	M2.01_48norm.raw	-26,012	M2.01_48.wav	48.22	-27	1,843	ae
M3.01_02.wav	1.31	M3.01_02norm.raw	-25,981	M3.01_02.wav	48.72	-28	1,933	p
M3.01_03.wav	1.08	M3.01_03norm.raw	-26,014	M3.01_03.wav	53.00	-27	2,114	p
M3.01_04.wav	1.58	M3.01_04norm.raw	-25,994	M3.01_04.wav	46.30	-30	1,561	p
M3.01_05.wav	1.32	M3.01_05norm.raw	-26,02	M3.01_05.wav	51.99	-28	2,238	p
M3.01_07.wav	1.21	M3.01_07norm.raw	-26,017	M3.01_07.wav	48.35	-28	1,909	p
M3.01_08.wav	1.00	M3.01_08norm.raw	-26,001	M3.01_08.wav	53.09	-26	2,188	p
M3.01_09.wav	0.91	M3.01_09norm.raw	-26,076	M3.01_09.wav	54.05	-25	2,254	p
M3.01_10.wav	1.11	M3.01_10norm.raw	-26,004	M3.01_10.wav	51.43	-27	2,086	p
M3.01_11.wav	0.97	M3.01_11norm.raw	-25,997	M3.01_11.wav	55.49	-26	2,445	p
M3.01_12.wav	0.86	M3.01_12norm.raw	-26,016	M3.01_12.wav	56.83	-25	2,540	p
M3.01_13.wav	1.10	M3.01_13norm.raw	-26,008	M3.01_13.wav	46.51	-27	1,720	p
M3.01_14.wav	0.98	M3.01_14norm.raw	-26	M3.01_14.wav	56.79	-26	2,544	p
M3.01_15.wav	0.91	M3.01_15norm.raw	-26,023	M3.01_15.wav	46.69	-25	1,746	p
M3.01_16.wav	1.05	M3.01_16norm.raw	-26,016	M3.01_16.wav	52.41	-26	2,188	p
M3.01_17.wav	0.78	M3.01_17norm.raw	-25,996	M3.01_17.wav	57.51	-24	2,714	p
M3.01_18.wav	0.87	M3.01_18norm.raw	-26,118	M3.01_18.wav	52.38	-25	2,174	p
M3.01_19.wav	0.94	M3.01_19norm.raw	-25,644	M3.01_19.wav	53.49	-26	2,354	p
M3.01_20.wav	1.07	M3.01_20norm.raw	-26,016	M3.01_20.wav	50.40	-27	2,017	e
M3.01_21.wav	1.06	M3.01_21norm.raw	-26,014	M3.01_21.wav	45.69	-27	1,705	e
M3.01_22.wav	1.08	M3.01_22norm.raw	-26,041	M3.01_22.wav	50.76	-27	2,069	e
M3.01_23.wav	0.98	M3.01_23norm.raw	-25,997	M3.01_23.wav	50.05	-26	1,989	e
M3.01_24.wav	1.31	M3.01_24norm.raw	-26,019	M3.01_24.wav	51.32	-28	2,076	e
M3.01_25.wav	1.28	M3.01_25norm.raw	-26,03	M3.01_25.wav	51.00	-28	2,125	e
M3.01_26.wav	1.39	M3.01_26norm.raw	-25,997	M3.01_26.wav	46.34	-29	1,848	e
M3.01_27.wav	1.01	M3.01_27norm.raw	-26,004	M3.01_27.wav	45.01	-26	1,641	e
M3.01_28.wav	1.08	M3.01_28norm.raw	-26,021	M3.01_28.wav	56.88	-27	2,591	e
M3.01_29.wav	1.13	M3.01_29norm.raw	-26,009	M3.01_29.wav	45.86	-27	1,670	e
M3.01_30.wav	1.13	M3.01_30norm.raw	-26,008	M3.01_30.wav	59.40	-27	3,048	e
M3.01_31.wav	1.01	M3.01_31norm.raw	-26,006	M3.01_31.wav	46.25	-26	1,724	e
M3.01_32.wav	1.00	M3.01_32norm.raw	-26,003	M3.01_32.wav	53.49	-26	2,278	e
M3.01_33.wav	1.08	M3.01_33norm.raw	-26,017	M3.01_33.wav	44.44	-27	1,728	e
M3.01_34.wav	0.95	M3.01_34norm.raw	-26,018	M3.01_34.wav	52.14	-26	2,201	e
M3.01_35.wav	0.93	M3.01_35norm.raw	-26,001	M3.01_35.wav	43.65	-25	1,578	e
M3.01_37.wav	1.25	M3.01_37norm.raw	-26,012	M3.01_37.wav	54.05	-28	2,225	e

Resultado do Pré-processamento dos Audios Gravados

M3.01_38.wav	1.05	M3.01_38norm.raw	-26,009	M3.01_38.wav	55.92	-26	2,360	ap
M3.01_39.wav	0.93	M3.01_39norm.raw	-26,007	M3.01_39.wav	59.17	-25	2,912	ap
M3.01_40.wav	0.96	M3.01_40norm.raw	-26,014	M3.01_40.wav	61.57	-26	3,240	ap
M3.01_41.wav	0.89	M3.01_41norm.raw	-26,012	M3.01_41.wav	54.99	-25	2,559	ap
M3.01_42.wav	0.85	M3.01_42norm.raw	-26,007	M3.01_42.wav	54.14	-25	2,310	ap
M3.01_43.wav	1.26	M3.01_43norm.raw	-26,034	M3.01_43.wav	63.17	-28	3,422	ap
M3.01_44.wav	1.01	M3.01_44norm.raw	-26,004	M3.01_44.wav	51.90	-26	2,132	ae
M3.01_45.wav	1.04	M3.01_45norm.raw	-26,01	M3.01_45.wav	48.55	-26	1,859	ae
M3.01_46.wav	0.98	M3.01_46norm.raw	-25,999	M3.01_46.wav	52.66	-26	2,203	ae
M3.01_47.wav	0.73	M3.01_47norm.raw	-26,025	M3.01_47.wav	43.15	-23	1,588	ae
M3.01_48.wav	0.94	M3.01_48norm.raw	-26,007	M3.01_48.wav	61.81	-26	3,192	ae
M4.01_02.wav	1.02	M4.01_02norm.raw	-26,012	M4.01_02.wav	45.53	-26	1,676	ae
M4.01_04.wav	0.8	M4.01_04norm.raw	-26	M4.01_04.wav	42.5	-25	1,520	p
M4.01_05.wav	1.0	M4.01_05norm.raw	-26,007	M4.01_05.wav	47.6	-26	1,788	p
M4.01_06.wav	0.8	M4.01_06norm.raw	-26,009	M4.01_06.wav	45.2	-25	1,571	p
M4.01_07.wav	0.90	M4.01_07norm.raw	-25,987	M4.01_07.wav	47.01	-25	1,791	p
M4.01_08.wav	0.8	M4.01_08norm.raw	-26,002	M4.01_08.wav	53.3	-24	2,167	p
M4.01_09.wav	0.8	M4.01_09norm.raw	-26,012	M4.01_09.wav	50.2	-25	1,904	p
M4.01_10.wav	0.8	M4.01_10norm.raw	-26,003	M4.01_10.wav	45.2	-24	1,613	p
M4.01_11.wav	0.83	M4.01_11norm.raw	-26,115	M4.01_11.wav	51.92	-24	1,953	p
M4.01_12.wav	0.9	M4.01_12norm.raw	-26,002	M4.01_12.wav	57.2	-25	2,523	p
M4.01_13.wav	0.90	M4.01_13norm.raw	-26,015	M4.01_13.wav	50.98	-25	1,989	p
M4.01_14.wav	0.81	M4.01_14norm.raw	-26	M4.01_14.wav	49.80	-24	1,955	p
M4.01_15.wav	0.7	M4.01_15norm.raw	-26,01	M4.01_15.wav	48.0	-23	1,783	p
M4.01_16.wav	0.7	M4.01_16norm.raw	-26,149	M4.01_16.wav	46.9	-23	1,804	p
M4.01_17.wav	0.88	M4.01_17norm.raw	-26,012	M4.01_17.wav	47.41	-25	1,716	p
M4.01_18.wav	0.84	M4.01_18norm.raw	-26,002	M4.01_18.wav	45.34	-25	1,649	p
M4.01_19.wav	0.8	M4.01_19norm.raw	-26,005	M4.01_19.wav	45.5	-25	1,641	p
M4.01_20.wav	1.13	M4.01_20norm.raw	-26,036	M4.01_20.wav	48.49	-27	1,946	e
M4.01_21.wav	0.9	M4.01_21norm.raw	-26,003	M4.01_21.wav	54.0	-25	2,421	e
M4.01_23.wav	1.20	M4.01_23norm.raw	-26,003	M4.01_23.wav	44.47	-28	1,595	e
M4.01_24.wav	0.9	M4.01_24norm.raw	-25,998	M4.01_24.wav	50.7	-26	2,044	e
M4.01_26.wav	1.07	M4.01_26norm.raw	-26,031	M4.01_26.wav	42.94	-27	1,628	e
M4.01_27.wav	1.00	M4.01_27norm.raw	-26,002	M4.01_27.wav	55.16	-26	2,479	e
M4.01_28.wav	1.01	M4.01_28norm.raw	-26,003	M4.01_28.wav	56.52	-26	2,547	e
M4.01_29.wav	1.04	M4.01_29norm.raw	-26,007	M4.01_29.wav	53.08	-26	2,330	e
M4.01_30.wav	0.8	M4.01_30norm.raw	-26,021	M4.01_30.wav	46.0	-25	1,846	e
M4.01_31.wav	0.81	M4.01_31norm.raw	-25,997	M4.01_31.wav	44.83	-24	1,706	e
M4.01_32.wav	0.92	M4.01_32norm.raw	-26,01	M4.01_32.wav	49.07	-25	2,056	e
M4.01_33.wav	0.86	M4.01_33norm.raw	-26,011	M4.01_33.wav	45.61	-25	1,680	e
M4.01_34.wav	1.04	M4.01_34norm.raw	-26,008	M4.01_34.wav	50.52	-26	2,033	e
M4.01_35.wav	1.07	M4.01_35norm.raw	-26,014	M4.01_35.wav	50.56	-27	2,105	e
M4.01_36.wav	0.9	M4.01_36norm.raw	-25,989	M4.01_36.wav	47.1	-26	1,773	e
M4.01_37.wav	1.24	M4.01_37norm.raw	-26,025	M4.01_37.wav	52.52	-28	2,131	e
M4.01_38.wav	0.90	M4.01_38norm.raw	-26,035	M4.01_38.wav	50.74	-25	2,025	ap
M4.01_39.wav	0.9	M4.01_39norm.raw	-26,007	M4.01_39.wav	60.8	-26	3,054	ap
M4.01_40.wav	0.8	M4.01_40norm.raw	-26,001	M4.01_40.wav	51.1	-24	2,000	ap
M4.01_41.wav	0.89	M4.01_41norm.raw	-26,011	M4.01_41.wav	50.66	-25	1,970	ap
M4.01_42.wav	0.9	M4.01_42norm.raw	-26,008	M4.01_42.wav	64.2	-25	3,355	ap
M4.01_43.wav	0.8	M4.01_43norm.raw	-26,046	M4.01_43.wav	56.8	-25	2,587	ap
M4.01_45.wav	1.21	M4.01_45norm.raw	-26,005	M4.01_45.wav	55.51	-28	2,401	ae
M4.01_46.wav	1.18	M4.01_46norm.raw	-26,003	M4.01_46.wav	47.85	-27	1,751	ae
M4.01_47.wav	1.0	M4.01_47norm.raw	-26,004	M4.01_47.wav	60.0	-26	3,236	ae

Média nível	-26,01009
-------------	-----------

Resultado do Pré-processamento dos Audios Gravados

ARQUIVOS DESCARTADOS							
F4.01_02.wav	1.15	F4.01_02norm.raw	-25,997	F4.01_02.wav	32.34	-27	0,917 p
M4.01_48.wav	1.13	M4.01_48norm.raw	-26,011	M4.01_48.wav	36.22	-27	1,140 ae
F1.01_29.wav	0.91	F1.01_29norm.raw	-26,038	F1.01_29.wav	38.23	-25	1,211 e
M4.01_44.wav	1.25	M4.01_44norm.raw	-25,958	M4.01_44.wav	37.21	-28	1,219 ae
F4.01_29.wav	1.77	F4.01_29norm.raw	-26,018	F4.01_29.wav	39.32	-31	1,221 e
F1.01_14.wav	1.17	F1.01_14norm.raw	-25,977	F1.01_14.wav	39.09	-27	1,295 p
M3.01_36.wav	0.96	M3.01_36norm.raw	-26,02	M3.01_36.wav	39.26	-26	1,306 e
F1.01_42.wav	1.03	F1.01_42norm.raw	-26,008	F1.01_42.wav	39.35	-26	1,309 ae
F4.01_27.wav	1.82	F4.01_27norm.raw	-26,048	F4.01_27.wav	40.15	-31	1,315 e
F1.01_27.wav	1.21	F1.01_27norm.raw	-26,016	F1.01_27.wav	41.12	-28	1,317 e
F1.01_46.wav	1.10	F1.01_46norm.raw	-26,011	F1.01_46.wav	40.88	-27	1,318 ae
F1.01_08.wav	1.58	F1.01_08norm.raw	-25,994	F1.01_08.wav	40.95	-30	1,327 p
M1.01_26.wav	0.90	M1.01_26norm.raw	-26,023	M1.01_26.wav	40.58	-25	1,340 e
M4.01_22.wav	0.97	M4.01_22norm.raw	-25,994	M4.01_22.wav	41.28	-26	1,384 e
F1.01_33.wav	1.00	F1.01_33norm.raw	-26,002	F1.01_33.wav	41.57	-26	1,399 e
F1.01_03.wav	1.33	F1.01_03norm.raw	-26,028	F1.01_03.wav	42.25	-28	1,407 p
M1.01_39.wav	0.89	M1.01_39norm.raw	-26,016	M1.01_39.wav	41.98	-25	1,408 ap
M1.01_35.wav	1.07	M1.01_35norm.raw	-26,017	M1.01_35.wav	41.49	-27	1,415 e
M1.01_22.wav	1.05	M1.01_22norm.raw	-26,013	M1.01_22.wav	41.72	-26	1,423 e
F1.01_10.wav	1.37	F1.01_10norm.raw	-25,999	F1.01_10.wav	42.83	-29	1,434 p
F1.01_24.wav	1.10	F1.01_24norm.raw	-26,005	F1.01_24.wav	43.07	-27	1,436 e
M1.01_08.wav	0.99	M1.01_08norm.raw	-26	M1.01_08.wav	40.95	-26	1,440 p
F4.01_08.wav	1.0	F4.01_08norm.raw	-26,01	F4.01_08.wav	42.5	-26	1,444 p
F1.01_25.wav	1.28	F1.01_25norm.raw	-26,017	F1.01_25.wav	43.83	-28	1,446 e
F4.01_40.wav	1.45	F4.01_40norm.raw	-26,013	F4.01_40.wav	43.96	-29	1,454 ap
M1.01_07.wav	0.92	M1.01_07norm.raw	-26,01	M1.01_07.wav	41.13	-25	1,461 p
M1.01_25.wav	0.99	M1.01_25norm.raw	-25,999	M1.01_25.wav	42.76	-26	1,461 e
F1.01_06.wav	1.26	F1.01_06norm.raw	-26,017	F1.01_06.wav	43.34	-28	1,464 p
M4.01_03.wav	0.92	M4.01_03norm.raw	-26,006	M4.01_03.wav	43.61	-25	1,465 p
M2.01_11.wav	0.9	M2.01_11norm.raw	-26,02	M2.01_11.wav	41.8	-26	1,465 p
M1.01_28.wav	0.91	M1.01_28norm.raw	-26,002	M1.01_28.wav	40.18	-25	1,474 e
M1.01_30.wav	0.8	M1.01_30norm.raw	-25,995	M1.01_30.wav	42.7	-24	1,478 e
M1.01_04.wav	1.02	M1.01_04norm.raw	-26,007	M1.01_04.wav	43.60	-26	1,479 p
M4.01_25.wav	0.99	M4.01_25norm.raw	-26	M4.01_25.wav	41.71	-26	1,487 e
F1.01_09.wav	1.37	F1.01_09norm.raw	-26,026	F1.01_09.wav	43.70	-29	1,489 p
M2.01_12.wav	0.94	M2.01_12norm.raw	-26,021	M2.01_12.wav	43.23	-26	1,489 p
M1.01_31.wav	0.6	M1.01_31norm.raw	-26,004	M1.01_31.wav	43.8	-23	1,490 e
F1.01_12.wav	1.04	F1.01_12norm.raw	-26,011	F1.01_12.wav	44.68	-26	1,494 p
M3.01_06.wav	1.09	M3.01_06norm.raw	-26,004	M3.01_06.wav	43.73	-27	1,495 p
F4.01_32.wav	1.78	F4.01_32norm.raw	-26,011	F4.01_32.wav	47.90	-31	1,676 e
F4.01_45.wav	1.68	F4.01_45norm.raw	-26,005	F4.01_45.wav	49.25	-31	1,755 ae
F4.01_41.wav	1.75	F4.01_41norm.raw	-26,008	F4.01_41.wav	59.89	-31	2,804 ap

ANEXO G – DIVISÃO DE FRASES EM GRUPOS DE TRATAMENTO

DIVISÃO DAS FRASES EM GRUPOS

Grupos ITU

Grupo 1	F4.01_34norm.wav F4.01_35norm.wav F2.01_02norm.wav F2.01_03norm.wav M1.01_19norm.wav M1.01_20norm.wav M2.01_02norm.wav M2.01_03norm.wav	Grupo 2	F1.01_18norm.wav F1.01_19norm.wav F2.01_04norm.wav F2.01_05norm.wav M1.01_21norm.wav M1.01_23norm.wav M2.01_04norm.wav M2.01_05norm.wav	Grupo 3	F1.01_20norm.wav F1.01_21norm.wav F2.01_06norm.wav F2.01_07norm.wav M4.01_36norm.wav M4.01_37norm.wav M2.01_06norm.wav M2.01_07norm.wav
Grupo 4	F1.01_22norm.wav F1.01_23norm.wav F2.01_08norm.wav F2.01_09norm.wav M1.01_29norm.wav M1.01_32norm.wav M2.01_08norm.wav M2.01_09norm.wav	Grupo 5	F1.01_26norm.wav F1.01_28norm.wav F2.01_10norm.wav F2.01_11norm.wav M1.01_33norm.wav M1.01_34norm.wav M2.01_10norm.wav M2.01_13norm.wav	Grupo6	F1.01_30norm.wav F1.01_31norm.wav F2.01_12norm.wav F2.01_13norm.wav M3.01_20norm.wav M3.01_21norm.wav M2.01_14norm.wav M2.01_15norm.wav
Grupo 7	F1.01_32norm.wav F1.01_34norm.wav F2.01_14norm.wav F2.01_15norm.wav M3.01_22norm.wav M3.01_23norm.wav M2.01_16norm.wav M2.01_17norm.wav	Grupo 8	F3.01_19norm.wav F3.01_20norm.wav F2.01_16norm.wav F2.01_17norm.wav M3.01_24norm.wav M3.01_25norm.wav M4.01_04norm.wav M4.01_05norm.wav	Grupo 9	F3.01_21norm.wav F3.01_22norm.wav F1.01_02norm.wav F1.01_04norm.wav M3.01_26norm.wav M3.01_27norm.wav M4.01_06norm.wav M4.01_07norm.wav
Grupo 10	F3.01_23norm.wav F3.01_24norm.wav F1.01_05norm.wav F1.01_07norm.wav M3.01_28norm.wav M3.01_29norm.wav M4.01_08norm.wav M4.01_09norm.wav	Grupo 11	F3.01_25norm.wav F3.01_26norm.wav F1.01_11norm.wav F1.01_13norm.wav M3.01_30norm.wav M3.01_31norm.wav M4.01_10norm.wav M4.01_11norm.wav	Grupo 12	F3.01_27norm.wav F3.01_28norm.wav F1.01_15norm.wav F1.01_48norm.wav M3.01_32norm.wav M3.01_33norm.wav M4.01_12norm.wav M4.01_13norm.wav
Grupo 13	F3.01_29norm.wav F3.01_30norm.wav F4.01_03norm.wav F4.01_04norm.wav M3.01_34norm.wav M3.01_35norm.wav M4.01_14norm.wav M4.01_15norm.wav	Grupo 14	F3.01_31norm.wav F3.01_32norm.wav F4.01_05norm.wav F4.01_06norm.wav M2.01_19norm.wav M2.01_20norm.wav M4.01_16norm.wav M4.01_17norm.wav	Grupo 15	F3.01_33norm.wav F3.01_34norm.wav F4.01_07norm.wav F4.01_09norm.wav M2.01_21norm.wav M2.01_22norm.wav M4.01_18norm.wav M4.01_19norm.wav
Grupo 16	F3.01_35norm.wav F3.01_36norm.wav F4.01_10norm.wav F4.01_11norm.wav M2.01_23norm.wav M2.01_24norm.wav M3.01_02norm.wav M3.01_03norm.wav	Grupo 17	F2.01_19norm.wav F2.01_20norm.wav F4.01_12norm.wav F4.01_13norm.wav M2.01_25norm.wav M2.01_26norm.wav M3.01_04norm.wav M3.01_05norm.wav	Grupo 18	F2.01_21norm.wav F2.01_22norm.wav F4.01_14norm.wav F4.01_15norm.wav M2.01_27norm.wav M2.01_28norm.wav M3.01_07norm.wav M3.01_08norm.wav
Grupo 19	F2.01_23norm.wav F2.01_24norm.wav F4.01_16norm.wav F4.01_17norm.wav M2.01_29norm.wav M2.01_30norm.wav M3.01_09norm.wav M3.01_10norm.wav	Grupo 20	F2.01_25norm.wav F2.01_26norm.wav F3.01_02norm.wav F3.01_03norm.wav M2.01_31norm.wav M2.01_32norm.wav M3.01_11norm.wav M3.01_12norm.wav	Grupo 21	F2.01_27norm.wav F2.01_28norm.wav F3.01_04norm.wav F3.01_05norm.wav M2.01_33norm.wav M2.01_34norm.wav M3.01_13norm.wav M3.01_14norm.wav

DIVISÃO DAS FRASES EM GRUPOS

Grupo 22 F2.01_29norm.wav
F2.01_30norm.wav
F3.01_06norm.wav
F3.01_07norm.wav
M2.01_35norm.wav
M2.01_36norm.wav
M3.01_15norm.wav
M3.01_16norm.wav

Grupo 23 F2.01_31norm.wav
F2.01_32norm.wav
F3.01_08norm.wav
F3.01_09norm.wav
M4.01_20norm.wav
M4.01_21norm.wav
M3.01_17norm.wav
M3.01_18norm.wav

Grupo 24 F2.01_33norm.wav
F2.01_34norm.wav
F3.01_10norm.wav
F3.01_11norm.wav
M4.01_23norm.wav
M4.01_24norm.wav
M1.01_02norm.wav
M1.01_03norm.wav

Grupo 25 F2.01_35norm.wav
F2.01_36norm.wav
F3.01_12norm.wav
F3.01_13norm.wav
M4.01_26norm.wav
M4.01_27norm.wav
M1.01_05norm.wav
M1.01_06norm.wav

Grupos ATC

Grupo 1a F1.01_43.wav
F1.01_44.wav
F2.01_37.wav
F2.01_38.wav
M1.01_43.wav
M1.01_44.wav
M2.01_37.wav
M2.01_38.wav

Grupo 2a F1.01_45.wav
F1.01_47.wav
F2.01_39.wav
F2.01_40.wav
M1.01_45.wav
M1.01_46.wav
M2.01_39.wav
M2.01_40.wav

Grupo 3a F2.01_43.wav
F2.01_44.wav
F3.01_37.wav
F3.01_38.wav
M1.01_47.wav
M1.01_48.wav
M2.01_41.wav
M2.01_42.wav

Grupo 4a F2.01_45.wav
F2.01_46.wav
F3.01_39.wav
F3.01_40.wav
M2.01_43.wav
M2.01_44.wav
M3.01_38.wav
M3.01_39.wav

Grupo 5a F2.01_47.wav
F2.01_48.wav
F3.01_41.wav
F3.01_42.wav
M2.01_45.wav
M2.01_46.wav
M3.01_40.wav
M3.01_41.wav

Grupo 6a F3.01_43.wav
F3.01_44.wav
F1.01_36.wav
F1.01_37.wav
M2.01_47.wav
M2.01_48.wav
M3.01_42.wav
M3.01_43.wav

Grupo 7a F3.01_45.wav
F3.01_46.wav
F1.01_38.wav
F1.01_39.wav
M3.01_44.wav
M3.01_45.wav
M4.01_38.wav
M4.01_39.wav

Grupo 8a F3.01_47.wav
F3.01_48.wav
F1.01_40.wav
F1.01_41.wav
M3.01_46.wav
M3.01_47.wav
M4.01_40.wav
M4.01_41.wav

ANEXO H – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS - TESTES EM VÔO

Condições Climáticas durante os Testes em Voo

Dia 11 OUT 2017 – Voo Santa Catarina:

Considerações do Previsor: baixa nebulosidade próximo à Morro da Igreja (MDI) e Curitiba no período de 13 horas a 16 horas (horário local). Temperatura de 26°C (SBLJ/ METAR 11/10/2017 18:00 UTC- METAR SBJV 111800Z 13022KT 9999 FEW040TCU 26/20 Q1012=), 24°C (SBCT/ METAR 11/10/2017 18:00UTC - METAR SBCT 111800Z 15009KT 9999 4000NW TS VCSH BKN050 FEW060CB BKN100 24/21 Q1015=), sem precipitação nas localidades.

Imagem de satélite 1 – GOES 16, Canal_16 (13,30 microns) – 14h30min. Fonte DECEA/INPE

Imagem de satélite 2 – GOES 16, Canal_01 (0,47 microns) – 14h30min. Fonte DECEA/INPE

Dia 17 OUT 2017 – Vôo GEIV

Considerações do Previsor: baixa nebulosidade próximo à, Campos (CAM), Pico do Couto (PCO), Varginha (VARG), Piedade (PIE) e Curitiba no período de 9 horas a 13 horas (horário local). Temperatura de 18°C (Curitiba - METAR SBCT 171400Z 08010KT 9999 SCT010 BKN013 18/14 Q1025=), 28°C (Varginha - METAR SBVG 171600Z /////KT CAVOK 28/14 Q1024=) sem precipitação nas localidades, 26°C (Campos - METAR SBCP 171400Z 21002KT 9999 BKN020 26/19 Q1024=), sem precipitações.

Imagem de satélite 3 – GOES 16, Canal_16 (13,30 microns) – 9h30min. Fonte DECEA/INPE

Imagem de satélite 4 – GOES 16, Canal_1 (0,47 microns) – 9h30min. Fonte DECEA/INPE

ANEXO I – MODELO DE QUESTIONÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Anexo II – Instruções aos Avaliadores

Tipo de Teste: ACR – *Absolute Category Rating*

“Avaliação de qualidade de voz em telecomunicações aeronáuticas”

Você irá escutar, através de sistema de reprodução de alto-falantes adequadamente posicionado na sala, amostras de sinais de fala gravados em diferentes situações de ruídos.

Cada amostra é constituída de duas frases separadas por uma pausa de aproximadamente dois segundos. Após o término desta amostra, você deverá fornecer sua opinião sobre a qualidade da amostra que escutou de acordo com a seguinte escala:

- 5 – Qualidade Excelente
- 4 – Qualidade Boa
- 3 – Qualidade Regular
- 2 – Qualidade Ruim
- 1 – Qualidade Péssima

Você terá 7 segundos para registrar a sua resposta no formulário de avaliação, marcando um “X” no respectivo campo que corresponde à sua opinião.

Iniciaremos a sessão com um treinamento de maneira que você possa se familiarizar com o procedimento. A sessão de teste levará aproximadamente 20 minutos.

Anexo II – Questionário de Avaliação Subjetiva

Identificação do Avaliador:

SESSÃO DE TREINAMENTO

AMOSTRA 1

5 – Excelente	4 - Bom	3 - Regular	2- Ruim	1 – Péssimo

AMOSTRA 2

5 – Excelente	4 - Bom	3 - Regular	2- Ruim	1 – Péssimo

AMOSTRA 3

5 – Excelente	4 - Bom	3 - Regular	2- Ruim	1 – Péssimo

AMOSTRA 4

5 – Excelente	4 - Bom	3 - Regular	2- Ruim	1 – Péssimo

******* FIM DO TREINAMENTO *******

SESSÃO DE AVALIAÇÃO

AMOSTRA 1

5 – Excelente	4 - Bom	3 - Regular	2- Ruim	1 – Péssimo

AMOSTRA 2

5 – Excelente	4 - Bom	3 - Regular	2- Ruim	1 – Péssimo

AMOSTRA 3

5 – Excelente	4 - Bom	3 - Regular	2- Ruim	1 – Péssimo

AMOSTRA 4

5 – Excelente	4 - Bom	3 - Regular	2- Ruim	1 – Péssimo

...

AMOSTRA 36

5 – Excelente	4 - Bom	3 - Regular	2- Ruim	1 – Péssimo

***** FIM *****

ANEXO J – LISTAS DE REPRODUÇÃO DAS SESSÕES SUBJETIVAS

Legenda:

La_bb_Gcc_de.ee_ffgggg

La - indica o número de identificação de lista (1-4); bb - o número sequencial de reprodução; cc - identificação do grupo/condição/tratamento; d - indica o tipo de voz (M para masculina e F para feminina); e.ee - identificação do locutor; ff - identificação da frase; gggg - tipo de tratamento/condição de teste.

LISTA DE REPRODUÇÃO 1 – SESSÃO 1

L1_01_G2_M2.01_04MNRU10R.wav	L1_15_G20_F2.01_25_PCO_CAM_PIE_1336S.wav	L1_29_G8_M4.01_04MNRU50R.wav
L1_01_G2_M2.01_05MNRU10R.wav	L1_15_G20_F2.01_26_PCO_CAM_PIE_1336S.wav	L1_29_G8_M4.01_05MNRU50R.wav
L1_02_G3_F1.01_20MNRU15R.wav	L1_16_G1A_M2.01_37_ACC_APP_TF1.wav	L1_30_G18_F2.01_21_FL_ACC_CT_MDL.wav
L1_02_G3_F1.01_21MNRU15R.wav	L1_16_G1A_M2.01_38_ACC_APP_TF1.wav	L1_30_G18_F2.01_22_FL_ACC_CT_MDL.wav
L1_03_G7A_F3.01_45_PCO_CAM_PIE_1336.wav	L1_17_G3A_M2.01_41_ACC_CAV_1275.wav	L1_31_G24_F2.01_33_PCO_PIE_12535.wav
L1_03_G7A_F3.01_46_PCO_CAM_PIE_1336.wav	L1_17_G3A_M2.01_42_ACC_CAV_1275.wav	L1_31_G24_F2.01_34_PCO_PIE_12535.wav
L1_04_G23_M3.01_17_PCO_VARG_PIE_12535S.wav	L1_18_G9_F3.01_21G711.wav
L1_04_G23_M3.01_18_PCO_VARG_PIE_12535S.wav	L1_18_G9_F3.01_22G711.wav
L1_05_G10_M4.01_08G726.wav	L1_19_G22_F2.01_29_PCO_VARG_12535.wav
L1_05_G10_M4.01_09G726.wav	L1_19_G22_F2.01_30_PCO_VARG_12535.wav
L1_06_G8A_M4.01_40_PCO_VARG_PIE_12535S.wav	L1_20_G21_M3.01_13_PCO_PIE_1336.wav
L1_06_G8A_M4.01_41_PCO_VARG_PIE_12535S.wav	L1_20_G21_M3.01_14_PCO_PIE_1336.wav
L1_07_G1_F4.01_34MNRU05R.wav	L1_21_G5_F1.01_26MNRU25R.wav
L1_07_G1_F4.01_35MNRU05R.wav	L1_21_G5_F1.01_28MNRU25R.wav
L1_08_G13_F3.01_29_ACC_CAV_1275.wav	L1_22_G4_M2.01_08MNRU20R.wav
L1_08_G13_F3.01_30_ACC_CAV_1275.wav	L1_22_G4_M2.01_09MNRU20R.wav
L1_09_G12_M4.01_12_ACC_ACC.wav	L1_23_G17_M3.01_04_ACC_FL_CT_MDL.wav
L1_09_G12_M4.01_13_ACC_ACC.wav	L1_23_G17_M3.01_05_ACC_FL_CT_MDL.wav
L1_10_G4A_F2.01_45_CAV_ACC_1275.wav	L1_24_F2.01_35norm.wav
L1_10_G4A_F2.01_46_CAV_ACC_1275.wav	L1_24_F2.01_36norm.wav
L1_11_G5A_M3.01_40_ACC_FL_CT_MDL.wav	L1_25_G11_F3.01_25_ACC_APP_TF1.wav
L1_11_G5A_M3.01_41_ACC_FL_CT_MDL.wav	L1_25_G11_F3.01_26_ACC_APP_TF1.wav
L1_12_G6_M2.01_14MNRU30R.wav	L1_26_G19_M3.01_09_PCO_CAM_1336.wav
L1_12_G6_M2.01_15MNRU30R.wav	L1_26_G19_M3.01_10_PCO_CAM_1336.wav
L1_13_G16_F3.01_35_ACC_FL_CT.wav	L1_27_G7_F1.01_32MNRU35R.wav
L1_13_G16_F3.01_36_ACC_FL_CT.wav	L1_27_G7_F1.01_34MNRU35R.wav
L1_14_G14_M4.01_16_CAV_ACC_1275.wav	L1_28_G2A_F1.01_45_ACC_ACC.wav
L1_14_G14_M4.01_17_CAV_ACC_1275.wav	L1_28_G2A_F1.01_47_ACC_ACC.wav	

LISTA DE REPRODUÇÃO 2 – SESSÃO 2

L2_01_G6_F2.01_12MNRU30R.wav	L2_15_G24_M4.01_23_PCO_PIE_12535.wav	L2_29_G1A_F2.01_37_ACC_APP_TF1.wav
L2_01_G6_F2.01_13MNRU30R.wav	L2_15_G24_M4.01_24_PCO_PIE_12535.wav	L2_29_G1A_F2.01_38_ACC_APP_TF1.wav
L2_02_G20_M2.01_31_PCO_CAM_PIE_1336S.wav	L2_16_G16_M2.01_23_ACC_FL_CT.wav	L2_30_G3A_F3.01_37_ACC_CAV_1275.wav
L2_02_G20_M2.01_32_PCO_CAM_PIE_1336S.wav	L2_16_G16_M2.01_24_ACC_FL_CT.wav	L2_30_G3A_F3.01_38_ACC_CAV_1275.wav
L2_03_G17_F4.01_12_ACC_FL_CT_MDL.wav	L2_17_G4_F2.01_08MNRU20R.wav	L2_31_G5A_F3.01_41_ACC_FL_CT_MDL.wav
L2_03_G17_F4.01_13_ACC_FL_CT_MDL.wav	L2_17_G4_F2.01_09MNRU20R.wav	L2_31_G5A_F3.01_42_ACC_FL_CT_MDL.wav
L2_04_G2_F2.01_04MNRU10R.wav	L2_18_G10_F1.01_05G726.wav
L2_04_G2_F2.01_05MNRU10R.wav	L2_18_G10_F1.01_07G726.wav
L2_05_G13_M3.01_34_ACC_CAV_1275.wav	L2_19_G7A_M3.01_44_PCO_CAM_PIE_1336.wav
L2_05_G13_M3.01_35_ACC_CAV_1275.wav	L2_19_G7A_M3.01_45_PCO_CAM_PIE_1336.wav
L2_06_G8_F2.01_16MNRU50R.wav	L2_20_G7_M3.01_22MNRU35R.wav
L2_06_G8_F2.01_17MNRU50R.wav	L2_20_G7_M3.01_23MNRU35R.wav
L2_07_G2A_M1.01_45_ACC_ACC.wav	L2_21_G4A_M2.01_43_CAV_ACC_1275.wav
L2_07_G2A_M1.01_46_ACC_ACC.wav	L2_21_G4A_M2.01_44_CAV_ACC_1275.wav
L2_08_G12_F1.01_15_ACC_ACC.wav	L2_22_G19_F4.01_16_PCO_CAM_1336.wav
L2_08_G12_F1.01_48_ACC_ACC.wav	L2_22_G19_F4.01_17_PCO_CAM_1336.wav
L2_09_G18_M2.01_27_FL_ACC_CT_MDL.wav	L2_23_M4.01_26norm.wav
L2_09_G18_M2.01_28_FL_ACC_CT_MDL.wav	L2_23_M4.01_27norm.wav
L2_10_G9_M3.01_26G711.wav	L2_24_G3_M4.01_36MNRU15R.wav
L2_10_G9_M3.01_27G711.wav	L2_24_G3_M4.01_37MNRU15R.wav
L2_11_G21_F3.01_04_PCO_PIE_1336.wav	L2_25_G14_F4.01_05_CAV_ACC_1275.wav
L2_11_G21_F3.01_05_PCO_PIE_1336.wav	L2_25_G14_F4.01_06_CAV_ACC_1275.wav
L2_12_G11_M3.01_30_ACC_APP_TF1.wav	L2_26_G5_M1.01_33MNRU25R.wav
L2_12_G11_M3.01_31_ACC_APP_TF1.wav	L2_26_G5_M1.01_34MNRU25R.wav
L2_13_G22_M2.01_35_PCO_VARG_12535S.wav	L2_27_G8A_F1.01_40_PCO_VARG_PIE_12535S.wav
L2_13_G22_M2.01_36_PCO_VARG_12535S.wav	L2_27_G8A_F1.01_41_PCO_VARG_PIE_12535S.wav
L2_14_G23_F3.01_08_PCO_VARG_PIE_12535S.wav	L2_28_G1_M1.01_19MNRU05R.wav
L2_14_G23_F3.01_09_PCO_VARG_PIE_12535S.wav	L2_28_G1_M1.01_20MNRU05R.wav	

LISTA DE REPRODUÇÃO 3 – SESSÃO 3

L3_01_G4A_F3.01_39_CAV_ACC_1275.wav	L3_15_G21_M2.01_33_PCO_PIE_1336.wav	L3_29_G16_F4.01_10_ACC_FL_CT.wav
L3_01_G4A_F3.01_40_CAV_ACC_1275.wav	L3_15_G21_M2.01_34_PCO_PIE_1336.wav	L3_29_G16_F4.01_11_ACC_FL_CT.wav
L3_02_F3.01_12norm.wav	L3_16_G14_M2.01_19_CAV_ACC_1275.wav	L3_30_G24_F3.01_10_PCO_PIE_12535.wav
L3_02_F3.01_13norm.wav	L3_16_G14_M2.01_20_CAV_ACC_1275.wav	L3_30_G24_F3.01_11_PCO_PIE_12535.wav
L3_03_G17_M2.01_25_ACC_FL_CT_MDI.wav	L3_17_G12_M3.01_32_ACC_ACC.wav	L3_31_G8A_M3.01_46_PCO_VARG_PIE_12535S.wav
L3_03_G17_M2.01_26_ACC_FL_CT_MDI.wav	L3_17_G12_M3.01_33_ACC_ACC.wav	L3_31_G8A_M3.01_47_PCO_VARG_PIE_12535S.wav
L3_04_G3_F2.01_06MNRU15R.wav	L3_18_G2A_F2.01_39_ACC_ACC.wav
L3_04_G3_F2.01_07MNRU15R.wav	L3_18_G2A_F2.01_40_ACC_ACC.wav
L3_05_G4_M1.01_29MNRU20R.wav	L3_19_G20_F3.01_02_PCO_CAM_PIE_1336S.wav
L3_05_G4_M1.01_32MNRU20R.wav	L3_19_G20_F3.01_03_PCO_CAM_PIE_1336S.wav
L3_06_G9_F1.01_02G711.wav	L3_20_G18_F4.01_14_FL_ACC_CT_MDI.wav
L3_06_G9_F1.01_04G711.wav	L3_20_G18_F4.01_15_FL_ACC_CT_MDI.wav
L3_07_G3A_M1.01_47_ACC_CAV_1275.wav	L3_21_G5A_M2.01_45_ACC_FL_CT_MDI.wav
L3_07_G3A_M1.01_48_ACC_CAV_1275.wav	L3_21_G5A_M2.01_46_ACC_FL_CT_MDI.wav
L3_08_G8_M3.01_24MNRU50R.wav	L3_22_G10_M3.01_28G726.wav
L3_08_G8_M3.01_25MNRU50R.wav	L3_22_G10_M3.01_29G726.wav
L3_09_G1A_M1.01_43_ACC_APP_TF1.wav	L3_23_G23_M4.01_20_PCO_VARG_PIE_12535S.wav
L3_09_G1A_M1.01_44_ACC_APP_TF1.wav	L3_23_G23_M4.01_21_PCO_VARG_PIE_12535S.wav
L3_10_G6_M3.01_20MNRU30R.wav	L3_24_G22_F3.01_06_PCO_VARG_12535S.wav
L3_10_G6_M3.01_21MNRU30R.wav	L3_24_G22_F3.01_07_PCO_VARG_12535S.wav
L3_11_G7A_F1.01_38_PCO_CAM_PIE_1336.wav	L3_25_G13_F4.01_03_ACC_CAV_1275.wav
L3_11_G7A_F1.01_39_PCO_CAM_PIE_1336.wav	L3_25_G13_F4.01_04_ACC_CAV_1275.wav
L3_12_G11_F1.01_11_ACC_APP_TF1.wav	L3_26_G19_M2.01_29_PCO_CAM_1336.wav
L3_12_G11_F1.01_13_ACC_APP_TF1.wav	L3_26_G19_M2.01_30_PCO_CAM_1336.wav
L3_13_G5_F2.01_10MNRU25R.wav	L3_27_G2_M1.01_21MNRU10R.wav
L3_13_G5_F2.01_11MNRU25R.wav	L3_27_G2_M1.01_23MNRU10R.wav
L3_14_G7_F2.01_14MNRU35R.wav	L3_28_G1_F2.01_02MNRU05R.wav
L3_14_G7_F2.01_15MNRU35R.wav	L3_28_G1_F2.01_03MNRU05R.wav	

LISTA DE REPRODUÇÃO 4 – SESSÃO 4

L4_01_G3_M2.01_06MNRU15R.wav	L4_15_G4A_M3.01_38_CAV_ACC_1275.wav	L4_29_G22_M3.01_15_PCO_VARG_12535S.wav
L4_01_G3_M2.01_07MNRU15R.wav	L4_15_G4A_M3.01_39_CAV_ACC_1275.wav	L4_29_G22_M3.01_16_PCO_VARG_12535S.wav
L4_02_G17_F2.01_19_ACC_FL_CT_MDI.wav	L4_16_G2A_M2.01_39_ACC_ACC.wav	L4_30_G21_F2.01_27_PCO_PIE_1336.wav
L4_02_G17_F2.01_20_ACC_FL_CT_MDI.wav	L4_16_G2A_M2.01_40_ACC_ACC.wav	L4_30_G21_F2.01_28_PCO_PIE_1336.wav
L4_03_G12_F3.01_27_ACC_ACC.wav	L4_17_G16_M3.01_02_ACC_FL_CT.wav	L4_31_G14_F3.01_31_CAV_ACC_1275.wav
L4_03_G12_F3.01_28_ACC_ACC.wav	L4_17_G16_M3.01_03_ACC_FL_CT.wav	L4_31_G14_F3.01_32_CAV_ACC_1275.wav
L4_04_G3A_F2.01_43_ACC_CAV_1275.wav	L4_18_G23_F2.01_31_PCO_VARG_PIE_12535S.wav
L4_04_G3A_F2.01_44_ACC_CAV_1275.wav	L4_18_G23_F2.01_32_PCO_VARG_PIE_12535S.wav
L4_05_G20_M3.01_11_PCO_CAM_PIE_1336S.wav	L4_19_G18_M3.01_07_FL_ACC_CT_MDI.wav
L4_05_G20_M3.01_12_PCO_CAM_PIE_1336S.wav	L4_19_G18_M3.01_08_FL_ACC_CT_MDI.wav
L4_06_G8A_F3.01_47_PCO_VARG_PIE_12535S.wav	L4_20_G2_F1.01_18MNRU10R.wav
L4_06_G8A_F3.01_48_PCO_VARG_PIE_12535S.wav	L4_20_G2_F1.01_19MNRU10R.wav
L4_07_G8_F3.01_19MNRU50R.wav	L4_21_G10_F3.01_23G726.wav
L4_07_G8_F3.01_20MNRU50R.wav	L4_21_G10_F3.01_24G726.wav
L4_08_G13_M4.01_14_ACC_CAV_1275.wav	L4_22_G4_F1.01_22MNRU20R.wav
L4_08_G13_M4.01_15_ACC_CAV_1275.wav	L4_22_G4_F1.01_23MNRU20R.wav
L4_09_G7_M2.01_16MNRU35R.wav	L4_23_G9_M4.01_06G711.wav
L4_09_G7_M2.01_17MNRU35R.wav	L4_23_G9_M4.01_07G711.wav
L4_10_G5_M2.01_10MNRU25R.wav	L4_24_G11_M4.01_10_ACC_APP_TF1.wav
L4_10_G5_M2.01_13MNRU25R.wav	L4_24_G11_M4.01_11_ACC_APP_TF1.wav
L4_11_G5A_F2.01_47_ACC_FL_CT_MDI.wav	L4_25_G19_F2.01_23_PCO_CAM_1336.wav
L4_11_G5A_F2.01_48_ACC_FL_MDI_CT.wav	L4_25_G19_F2.01_24_PCO_CAM_1336.wav
L4_12_G1A_F1.01_43_ACC_APP_TF1.wav	L4_26_G1_M2.01_02MNRU05R.wav
L4_12_G1A_F1.01_44_ACC_APP_TF1.wav	L4_26_G1_M2.01_03MNRU05R.wav
L4_13_G24_M1.01_02_PCO_PIE_12535S.wav	L4_27_G7A_M4.01_38_PCO_CAM_PIE_1336.wav
L4_13_G24_M1.01_03_PCO_PIE_12535S.wav	L4_27_G7A_M4.01_39_PCO_CAM_PIE_1336.wav
L4_14_G6_F1.01_30MNRU30R.wav	L4_28_M1.01_05norm.wav
L4_14_G6_F1.01_31MNRU30R.wav	L4_28_M1.01_06norm.wav	