

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DO RUÍDO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO  
AUTOMOBILÍSTICA

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

RICARDO PENNA LEITE

Florianópolis, 09 de junho de 2006



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DO RUÍDO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO  
AUTOMOBILÍSTICA

RICARDO PENNA LEITE

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de  
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA  
sendo aprovada em sua forma final.

---

Samir Nagi Yousri Gerges, Ph.D. – Orientador

---

Prof. Fernando Cabral, Ph.D. – Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Lauro César Nicolazzi, Dr.Eng. – Presidente

---

Prof. Roberto Jordan, Dr.Eng.

---

Prof. Fernando Castro Pinto, Dr.Eng.



Aos meus pais



O senhor sabe o que o silêncio é?  
É a gente mesmo, demais.

*João Guimarães Rosa*



Agradeço aos meus pais, pelo apoio e amor que me deram durante toda a vida.

aos meus irmãos e à minha cunhada, pelo carinho e companhia.

ao meu orientador, Samir N. Y. Gerges, pela oportunidade.

aos professores.

à Volkswagen/Audi, pela oportunidade de desenvolvermos o trabalho dentro da sua fábrica, e em especial a Marcelo Gross, Marcelo de Souza Monteiro, Rodrigo Crefta, e ao pessoal do CTV: Marcelo, Luciano, Cláudio, Júlio, Alírio, Anderson. A todos que, de uma forma ou outra, participaram.

a todas as pessoas que participaram como voluntários nas avaliações subjetivas.

a todos os companheiros de laboratório, sempre dispostos a ajudar ou opinar. Em especial aos que trabalharam diretamente no projeto: Stephan, William, Fernanda e Gustavo, e aos que contribuíram de outras formas: Carlos, Thiago, Raquel, Lilian, Alexsandro e muitos outros.

aos amigos das disciplinas: Leonardo, Jorge, Janilson e muitos outros.

aos amigos de fora e de dentro do laboratório, pelo apoio e pelos momentos de cinemas, baladas, praias, trilhas, músicas, etc. Mas sobretudo pela companhia.

ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, pelo acolhimento.

à Capes, pelo apoio financeiro.

ao Mateus, pela presença constante apesar da distância.



# *Sumário*

<b>Lista de Figuras</b>	<b>xiii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de símbolos</b>	<b>xvii</b>
<b>Resumo</b>	<b>xix</b>
<b>Abstract</b>	<b>xxi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 Revisão Bibliográfica</b>	<b>5</b>
2.1 Conceitos básicos da psicoacústica . . . . .	5
2.1.1 A orelha humana . . . . .	6
2.1.2 Percepção do volume . . . . .	7
2.1.3 Superposição de tons puros . . . . .	10
2.1.3.1 Efeitos de primeira ordem . . . . .	10
2.1.3.2 Efeitos de segunda ordem . . . . .	12
2.1.4 Bandas críticas . . . . .	13
2.1.5 Mascaramento . . . . .	14
2.2 Qualidade Sonora . . . . .	16
2.2.1 Métricas psicoacústicas . . . . .	18
2.2.1.1 Intensidade de flutuação . . . . .	18
2.2.1.2 Aspereza . . . . .	19

2.2.1.3	<i>Loudness</i> . . . . .	20
2.2.1.4	Agudeza . . . . .	21
2.2.1.5	Tonalidade . . . . .	21
2.2.1.6	Índice de articulação e Índice de inteligibilidade da fala . .	22
2.2.2	Avaliações subjetivas . . . . .	23
2.2.2.1	Ambiente de escuta . . . . .	23
2.2.2.2	Sujeitos de teste . . . . .	24
2.2.2.3	Preparação das amostras . . . . .	25
2.2.2.4	Preparação dos testes . . . . .	25
2.2.2.5	Escalas . . . . .	26
2.2.2.6	Métodos de avaliação pelo júri . . . . .	27
2.2.2.7	Métodos de análise . . . . .	29
2.2.2.8	Correlação entre os dados subjetivos e objetivos . . . . .	32
2.2.3	Aplicações na indústria automobilística . . . . .	32
2.2.3.1	Desenvolvimento de um modelo esportivo . . . . .	33
2.2.3.2	Janelas elétricas de carros . . . . .	33
2.2.3.3	Processamento sonoro . . . . .	35
2.2.3.4	Estudo de sons impulsivos . . . . .	35
2.2.3.5	Nova métrica para um caso específico . . . . .	36
2.3	Exemplos de estudos da qualidade do ruído de sistemas de CAVA . . . . .	37
<b>3</b>	<b>Primeira etapa: avaliação subjetiva de similaridade</b>	<b>41</b>
3.1	Metodologia das gravações . . . . .	42
3.2	Edição dos sons e cálculo das métricas psicoacústicas . . . . .	46
3.3	Análises iniciais . . . . .	47

---

3.4	Primeira avaliação subjetiva . . . . .	47
3.4.1	CrITÉrios para a seleÇão dos sons . . . . .	49
3.4.2	Alguns detalhes da preparaÇão da avaliaÇão . . . . .	51
3.4.3	Questionário . . . . .	53
3.4.4	Procedimento utilizado . . . . .	57
3.5	Perfil dos sujeitos e mÉdias das respostas subjetivas . . . . .	60
3.6	Análise dos pares repetidos e invertidos . . . . .	61
3.7	Aplicação da prova de Friedman . . . . .	64
3.8	ComparaÇões entre os grupos 1, 2, 3 e 4 . . . . .	65
3.9	CorrelaÇão entre os dados objetivos e subjetivos . . . . .	67
3.9.1	Uma investigaÇão por grÁficos . . . . .	68
3.9.2	Análise dos comentÁrios dos sujeitos . . . . .	72
3.9.3	Regressão linear mÚltipla . . . . .	75
3.9.3.1	CÁculo das variÁveis para a regressão linear mÚltipla . . . . .	78
3.9.3.2	Aplicação da regressão linear mÚltipla a todos os pares . . . . .	79
3.9.3.3	Aplicação da regressão linear mÚltipla aos pares dos gru- pos 1 e 2 . . . . .	82
3.9.3.4	Aplicação da regressão linear mÚltipla aos pares dos gru- pos 3 e 4 . . . . .	83
3.9.3.5	Aplicação da regressão linear mÚltipla aos pares do grupo 5 . . . . .	84
3.9.3.6	Predição de novas observaÇões . . . . .	84
3.10	Conclusões parciais . . . . .	86
<b>4</b>	<b>Segunda etapa: avaliaÇão subjetiva usando um diferencial semântico</b> . . . . .	<b>91</b>
4.1	Metodologia das gravaÇões . . . . .	91
4.2	EdiÇão dos sons e cálculo das métricas psicoacústicas . . . . .	94

4.3	Segunda avaliação subjetiva . . . . .	95
4.3.1	Critérios para a seleção dos sons . . . . .	95
4.3.2	Construção do diferencial semântico . . . . .	96
4.3.3	Alguns detalhes da preparação da avaliação . . . . .	99
4.3.4	Questionário . . . . .	100
4.3.5	Procedimento utilizado . . . . .	102
4.4	Perfil dos sujeitos e médias das respostas subjetivas . . . . .	105
4.5	Análise dos sons que se repetem . . . . .	105
4.6	Aplicação da prova de Friedman . . . . .	110
4.7	Comparação entre os resultados da primeira e da segunda avaliação subjetiva . . . . .	113
4.8	Análise dos comentários dos sujeitos . . . . .	114
4.9	Correlação entre os dados subjetivos . . . . .	114
4.10	Correlação entre as métricas psicoacústicas e os resultados subjetivos . . . . .	116
4.10.1	Uma investigação por gráficos . . . . .	118
4.10.1.1	Par <i>não-incômodo/incômodo</i> . . . . .	118
4.10.1.2	Par <i>silencioso/barulhento</i> . . . . .	119
4.10.1.3	Par <i>grave/agudo</i> . . . . .	119
4.10.1.4	Par <i>suave/áspero</i> . . . . .	120
4.10.1.5	Par <i>não-assobiante/assobiante</i> . . . . .	120
4.10.2	Regressão linear múltipla . . . . .	121
4.10.2.1	Aplicação da regressão linear múltipla utilizando o par <i>não-incômodo/incômodo</i> como variável dependente . . . . .	122
4.10.2.2	Aplicação da regressão linear múltipla utilizando o par <i>silencioso/barulhento</i> como variável dependente . . .	123

---

4.10.2.3	Aplicação da regressão linear múltipla utilizando o par <i>grave/agudo</i> como variável dependente . . . . .	124
4.10.2.4	Aplicação da regressão linear múltipla utilizando o par <i>suave/áspero</i> como variável dependente . . . . .	125
4.10.2.5	Aplicação da regressão linear múltipla utilizando o par <i>não-assobiante/assobiante</i> como variável dependente	127
4.11	Conclusões parciais . . . . .	127
<b>5</b>	<b>Conclusões</b>	<b>129</b>
5.1	As métricas psicoacústicas mais importantes . . . . .	129
5.2	Modelagem da percepção de diferença . . . . .	131
5.3	Modelagem do incômodo . . . . .	131
5.4	Sugestões para trabalhos futuros . . . . .	132
	<b>Referências</b>	<b>133</b>
	<b>Apêndice A – Correspondentes em inglês das denominações das métricas psicoacústicas e de outros termos amplamente empregados em qualidade sonora</b>	<b>137</b>
	<b>Apêndice B – Questionário 1</b>	<b>139</b>
	<b>Apêndice C – Respostas dos sujeitos na primeira avaliação subjetiva</b>	<b>151</b>
	<b>Apêndice D – Valores das métricas psicoacústicas dos sons da primeira avaliação subjetiva</b>	<b>155</b>
	<b>Apêndice E – Comentários feitos pelos sujeitos na primeira avaliação sub- jetiva e observações do avaliador</b>	<b>159</b>
E.1	Comentários feitos pelos sujeitos para cada par . . . . .	159
E.2	Comentários gerais feitos pelos sujeitos . . . . .	161
E.3	Observações do avaliador . . . . .	161

---

Apêndice F – Valores das variáveis de cada par	163
Apêndice G – Questionário 2	167
Apêndice H – As ordens de apresentação dos sons da segunda avaliação subjetiva	171
Apêndice I – Questionário 3	173
Apêndice J – Respostas dos sujeitos na segunda avaliação subjetiva	183
Apêndice K – Valores das métricas psicoacústicas dos sons da segunda avaliação subjetiva	189
Apêndice L – Comentários feitos pelos sujeitos na segunda avaliação sub- jetiva e observações do avaliador	191
L.1 Comentários feitos pelos sujeitos para cada som . . . . .	191
L.2 Comentários gerais feitos pelos sujeitos . . . . .	191

## *Lista de Figuras*

Figura 2.1 (a) Vista esquemática da orelha. (b) A cóclea desenrolada (bem simplificada) . . . . .	7
Figura 2.2 Posição do máximo de ressonância da membrana basilar para um som puro de frequência $f$ . . . . .	8
Figura 2.3 Curvas isofônicas . . . . .	9
Figura 2.4 Volume relativo de sons puros de curta duração . . . . .	10
Figura 2.5 Representação esquemática da percepção do sistema auditivo à superposição de dois tons . . . . .	12
Figura 2.6 Largura de banda crítica em função da frequência . . . . .	13
Figura 2.7 Índice de banda crítica em função da frequência . . . . .	14
Figura 2.8 Nível mínimo de um tom puro, em função da frequência, para que ele possa ser percebido quando estiver na presença de um ruído branco de nível $I_{WN}$	15
Figura 2.9 Nível mínimo de um tom puro, em função da frequência, para que ele possa ser percebido quando estiver na presença de um ruído com banda de 160 Hz e centrado em 1 kHz . . . . .	16
Figura 2.10 Pós-mascaramento: nível mínimo de um pulso de curta duração para que ele possa ser percebido quando antecedido de um som mascarador de 0,5 s e nível $L_{WN}$ , em função do intervalo de tempo $t_d$ entre o pulso e o mascarador	17
Figura 2.11 Exemplo de cabeça e torso artificiais . . . . .	18
Figura 2.12 Exemplo de uma escala por linha . . . . .	27
Figura 2.13 Exemplo de um possível questionário de diferencial semântico . . . . .	29
Figura 2.14 Diferencial semântico usado por Zhang e Vértiz (1997) . . . . .	34
Figura 2.15 Representação de um som impulsivo e suas quatro características. . . . .	37
Figura 3.1 Controle do sistema de ventilação do modelo <i>Ar-condicionado</i> . . . . .	42

Figura 3.2	Controle do sistema de ventilação do modelo <i>Simples/Aquecimento</i> . . .	42
Figura 3.3	Controle do sistema de ventilação do modelo <i>Simples</i> . . . . .	42
Figura 3.4	O sistema de gravação bi-auricular NoiseBook . . . . .	44
Figura 3.5	O ajuste das saídas de ar: posicionadas no centro e para baixo. Além disso, as válvulas eram abertas. . . . .	45
Figura 3.6	Ajuste do controle de aquecimento. . . . .	45
Figura 3.7	Ajuste da posição do assento do motorista. (a) antes do ajuste; (b) após o ajuste. . . . .	45
Figura 3.8	A escala por linha utilizada na primeira avaliação subjetiva . . . . .	48
Figura 3.9	Sistema montado para a apresentação dos sons na avaliação subjetiva. . .	58
Figura 3.10	A sala e o carro utilizados nas avaliações subjetivas. . . . .	59
Figura 3.11	Avaliação subjetiva: (a) posicionamento do pesquisador; (b) posicionamento do sujeito. . . . .	59
Figura 3.12	Histograma: no eixo horizontal, as diferenças de pontuação entre os pares 3 e 34; no eixo vertical, a quantidade de sujeitos. . . . .	62
Figura 3.13	Histograma: no eixo horizontal, as diferenças de pontuação entre os pares 7 e 28; no eixo vertical, a quantidade de sujeitos. . . . .	62
Figura 3.14	Histograma: no eixo horizontal, as diferenças de pontuação entre os pares 6 e 18; no eixo vertical, a quantidade de sujeitos. . . . .	63
Figura 3.15	Histograma: no eixo horizontal, as diferenças de pontuação entre os pares 12 e 24; no eixo vertical, a quantidade de sujeitos. . . . .	63
Figura 3.16	Histograma das pontuações do par 9. . . . .	65
Figura 3.17	Histograma das pontuações do par 22. . . . .	65
Figura 3.18	Comparação entre as pontuações médias dos pares . . . . .	66
Figura 3.19	Comparação entre as pontuações médias dos grupos 1, 2, 3 e 4 . . . . .	66
Figura 3.20	Relação entre a diferença de <i>loudness</i> entre os sons de cada par e a média das respostas subjetivas. . . . .	69
Figura 3.21	Relação entre a diferença de <i>loudness</i> entre os sons de cada par do grupo 5 e a média das respostas subjetivas. . . . .	69

---

Figura 3.22	Relação entre a diferença de agudeza entre os sons de cada par e a média das respostas subjetivas. . . . .	70
Figura 3.23	Relação entre a diferença de aspereza entre os sons de cada par e a média das respostas subjetivas. . . . .	70
Figura 3.24	Relação entre a diferença de intensidade de flutuação entre os sons de cada par e a média das respostas subjetivas. . . . .	71
Figura 3.25	Relação entre a diferença de proeminência entre os sons de cada par e a média das respostas subjetivas. . . . .	71
Figura 3.26	Relação entre a diferença de razão tom-ruído entre os sons de cada par e a média das respostas subjetivas. . . . .	72
Figura 3.27	Diferença média de (a) aspereza, (b) agudeza e (c) intensidade de flutuação entre os pares de cada conjunto. . . . .	73
Figura 3.28	Diferença média de (a) <i>loudness</i> , (b) proeminência e (c) razão tom-ruído entre os pares de cada conjunto. . . . .	74
Figura 3.29	A divisão do espectro de <i>loudness</i> em seis bandas . . . . .	79
Figura 3.30	Comparação entre as respostas subjetivas e a previsão dessas respostas pela Equação (3.5). . . . .	81
Figura 3.31	Comparação entre as respostas subjetivas e a previsão dessas respostas pela Equação (3.6). . . . .	82
Figura 3.32	Comparação entre as respostas subjetivas e a previsão dessas respostas pela Equação (3.7). . . . .	82
Figura 3.33	Comparação entre as respostas subjetivas dos grupos 1 e 2 e a previsão dessas respostas pela Equação (3.8). . . . .	83
Figura 3.34	Comparação entre as respostas subjetivas dos grupos 3 e 4 e a previsão dessas respostas pela Equação (3.9). . . . .	84
Figura 3.35	Comparação entre as respostas subjetivas do grupo 5 e a previsão dessas respostas pela Equação (3.10). . . . .	85
Figura 4.1	Posicionamento da cabeça e torso artificiais dentro do automóvel. . . .	94
Figura 4.2	Uma pessoa sentava-se no banco do carona para fazer os ajustes no sistema de CAVA. . . . .	94

- Figura 4.3 O *notebook* foi posicionado sempre do lado de fora do veículo. . . . . 94
- Figura 4.4 O diferencial semântico da segunda avaliação subjetiva. . . . . 99
- Figura 4.5 A pontuação atribuída para a escala do diferencial semântico. . . . . 106
- Figura 4.6 Histogramas: no eixo horizontal, os módulos das diferenças de pontuação (do par *não-incômodo/incômodo*) marcadas entre a primeira e a segunda vez em que o som foi apresentado, para os sons: (a) 019, *Pé/Pára-brisa-3*; (b) 024, *Pé-4*. No eixo vertical, a quantidade de sujeitos. . . . . 107
- Figura 4.7 Histogramas: no eixo horizontal, os módulos das diferenças de pontuação (do par *silencioso/barulhento*) marcadas entre a primeira e a segunda vez em que o som foi apresentado, para os sons: (a) 019, *Pé/Pára-brisa-3*; (b) 024, *Pé-4*. No eixo vertical, a quantidade de sujeitos. . . . . 108
- Figura 4.8 Histogramas: no eixo horizontal, os módulos das diferenças de pontuação (do par *grave/agudo*) marcadas entre a primeira e a segunda vez em que o som foi apresentado, para os sons: (a) 019, *Pé/Pára-brisa-3*; (b) 024, *Pé-4*. No eixo vertical, a quantidade de sujeitos. . . . . 108
- Figura 4.9 Histogramas: no eixo horizontal, os módulos das diferenças de pontuação (do par *suave/áspero*) marcadas entre a primeira e a segunda vez em que o som foi apresentado, para os sons: (a) 019, *Pé/Pára-brisa-3*; (b) 024, *Pé-4*. No eixo vertical, a quantidade de sujeitos. . . . . 109
- Figura 4.10 Histogramas: no eixo horizontal, os módulos das diferenças de pontuação (do par *não-assobiante/assobiante*) marcadas entre a primeira e a segunda vez em que o som foi apresentado, para os sons: (a) 019, *Pé/Pára-brisa-3*; (b) 024, *Pé-4*. No eixo vertical, a quantidade de sujeitos. . . . . 109
- Figura 4.11 Histogramas das pontuações dadas pelos sujeitos para o som 024, *Pé-4*:  
(a) *não-incômodo/incômodo*; (b) *não-assobiante/assobiante*; (c) *grave/agudo*. . 111
- Figura 4.12 Histogramas das pontuações dadas pelos sujeitos para o som 020, *Frente-2*: (a) *não-incômodo/incômodo*; (b) *não-assobiante/assobiante*; (c) *grave/agudo*. . . . . 112
- Figura 4.13 Comparação entre os resultados das duas avaliações subjetivas . . . . . 113
- Figura 4.14 Relação entre as respostas dos pares *silencioso/barulhento* e *não-incômodo/incômodo*. . . . . 115

Figura 4.15	Relação entre as respostas dos pares <i>silencioso/barulhento</i> e <i>suave/áspero</i> .	116
Figura 4.16	Relação entre as respostas dos pares <i>grave/agudo</i> e <i>não-incômodo/incômodo</i> .	116
Figura 4.17	Relação entre as respostas do par <i>não-incômodo/incômodo</i> e o <i>loudness</i> .	118
Figura 4.18	Relação entre as respostas do par <i>não-incômodo/incômodo</i> e a agudeza.	118
Figura 4.19	Relação entre as respostas do par <i>não-incômodo/incômodo</i> e a aspereza.	119
Figura 4.20	Relação entre as respostas do par <i>silencioso/barulhento</i> e o <i>loudness</i> .	119
Figura 4.21	Relação entre as respostas do par <i>grave/agudo</i> e a agudeza.	120
Figura 4.22	Relação entre as respostas do par <i>suave/áspero</i> e a aspereza.	120
Figura 4.23	Relação entre as respostas do par <i>suave/áspero</i> e a agudeza.	121
Figura 4.24	Relação entre as respostas do par <i>não-assobiante/assobiante</i> e a razão tom-ruído.	121
Figura 4.25	Relação entre as respostas do par <i>não-assobiante/assobiante</i> e a proeminência.	122
Figura 4.26	Relação entre as respostas do par <i>não-assobiante/assobiante</i> e a agudeza.	122
Figura 4.27	Comparação entre as respostas subjetivas do par <i>não-incômodo/incômodo</i> com a previsão dessas respostas pela Equação (4.1).	123
Figura 4.28	Comparação entre as respostas subjetivas do par <i>não-incômodo/incômodo</i> com a previsão dessas respostas pela Equação (4.2).	124
Figura 4.29	Comparação entre as respostas subjetivas do par <i>silencioso/barulhento</i> com a previsão dessas respostas pela Equação (4.3).	124
Figura 4.30	Comparação entre as respostas subjetivas do par <i>grave/agudo</i> com a previsão dessas respostas pela Equação (4.4).	125
Figura 4.31	Comparação entre as respostas subjetivas do par <i>suave/áspero</i> com a previsão dessas respostas pela Equação (4.5).	126
Figura 4.32	Comparação entre as respostas subjetivas do par <i>suave/áspero</i> com a previsão dessas respostas pela Equação (4.6).	126
Figura 5.1	Relação entre as respostas do par <i>não-incômodo/incômodo</i> e o <i>loudness</i> .	130
Figura 5.2	Relação entre as respostas do par <i>silencioso/barulhento</i> e o <i>loudness</i> .	130



## *Lista de Tabelas*

Tabela 2.1	Escore de três grupos sob quatro condições [Siegel, 1975]. . . . .	31
Tabela 2.2	Posto de cada condição para cada um dos grupos da Tabela 2.1 [Siegel, 1975]. . . . .	31
Tabela 3.1	Dados dos carros gravados . . . . .	43
Tabela 3.2	Grupos com os sons escolhidos para a avaliação subjetiva. . . . .	50
Tabela 3.3	Exemplo da <i>normalização</i> feita para a seleção dos sons. . . . .	51
Tabela 3.4	Os pares utilizados no <b>Treinamento</b> , na ordem em que foram apresentados . . . . .	52
Tabela 3.5	Os sons apresentados em <b>Conhecendo os sons</b> , na ordem em que foram apresentados . . . . .	53
Tabela 3.6	Os pares utilizados na <b>Avaliação subjetiva</b> , na ordem em que foram apresentados . . . . .	54
Tabela 3.7	Perfil dos sujeitos que participaram da primeira avaliação subjetiva. . .	60
Tabela 3.8	Média e desvio padrão da pontuação dada para cada um dos 34 pares. . .	61
Tabela 3.9	Média e desvio padrão da pontuação dada para cada um dos pares do Treinamento. . . . .	61
Tabela 3.10	Média das diferenças de pontuação entre os pares que se repetem. . . .	63
Tabela 3.11	Média da pontuação dada a cada grupo. . . . .	67
Tabela 3.12	Comentários feitos pelos sujeitos dos pares 1 ao 15 e as suas respectivas análises . . . . .	76
Tabela 3.13	Comentários feitos pelos sujeitos dos pares 17 ao 34 e as suas respectivas análises . . . . .	77

Tabela 3.14	Previsão das respostas subjetivas do par Treinamento 1 e os valores mínimo e máximo do intervalo de predição. A Equação (3.9), por ter sido derivada apenas dos grupos 3 e 4, não é adequada para prever o Treinamento 1, que possui sons do grupo 1. Na última linha, a resposta subjetiva, para comparação. . . . .	87
Tabela 3.15	Previsão das respostas subjetivas do par Treinamento 2 e os valores mínimo e máximo do intervalo de predição. A Equação (3.8), por ter sido derivada apenas dos grupos 1 e 2, não é adequada para prever o Treinamento 2, que possui sons do grupo 4. Na última linha, a resposta subjetiva, para comparação. . . . .	87
Tabela 3.16	Previsão das respostas subjetivas do par Treinamento 3 e os valores mínimo e máximo do intervalo de predição. As Equações (3.8) e (3.9), por terem sido derivadas de grupos com o <i>loudness</i> próximos, não é adequada para prever o Treinamento 3, que possui sons com o <i>loudness</i> bem diferentes. Na última linha, a resposta subjetiva, para comparação. . . . .	87
Tabela 4.1	Dados dos carros gravados para a segunda etapa do trabalho. . . . .	92
Tabela 4.2	Os doze sons escolhidos para a segunda avaliação subjetiva. . . . .	96
Tabela 4.3	Palavras coletadas para a segunda avaliação subjetiva. . . . .	98
Tabela 4.4	Os sons que foram escolhidos para o <b>Treinamento</b> , na ordem em que foram apresentados. . . . .	99
Tabela 4.5	Diferenças entre os sons escolhidos para a segunda avaliação subjetiva, de acordo com a Equação (3.6). . . . .	103
Tabela 4.6	Média e desvio padrão da pontuação dada para cada um dos 14 sons, em cada um dos pares de adjetivos. . . . .	104
Tabela 4.7	Perfil dos sujeitos que participaram da segunda avaliação subjetiva. . .	105
Tabela 4.8	Médias das pontuações atribuídas ao som 019, <i>Pé/Pára-brisa-3</i> , tanto na primeira quanto na segunda vez (repetição) em que é apresentado aos sujeitos. . . . .	106
Tabela 4.9	Médias das pontuações atribuídas ao som 024, <i>Pé-4</i> , tanto na primeira quanto na segunda vez (repetição) em que é apresentado aos sujeitos. . . . .	107
Tabela 4.10	Matriz dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) entre os resultados subjetivos dos pares de adjetivos do diferencial semântico. . . . .	117

Tabela 4.11	Matriz dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) entre as métricas psicoacústicas e os resultados subjetivos. . . . .	117
Tabela 4.12	Matriz dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) entre as métricas psicoacústicas. . . . .	117
Tabela A.1	Correspondentes em inglês das denominações das métricas psicoacústicas e de outros termos amplamente empregados em qualidade sonora . . . .	138
Tabela C.1	Resposta da primeira avaliação subjetiva, do sujeito um ao quatorze. .	152
Tabela C.2	Resposta da primeira avaliação subjetiva, do sujeito quinze ao vinte e sete. . . . .	153
Tabela D.1	Grupo 1, lado direito, modelo <i>Simples</i> , <i>Pé-4</i> . . . . .	155
Tabela D.2	Grupo 1, lado esquerdo, modelo <i>Simples</i> , <i>Pé-4</i> . . . . .	156
Tabela D.3	Grupo 2, lado direito, modelo <i>Ar-condicionado</i> , <i>Pé/Pára-brisa-4</i> . . . .	156
Tabela D.4	Grupo 2, lado esquerdo, modelo <i>Ar-condicionado</i> , <i>Pé/Pára-brisa-4</i> . .	156
Tabela D.5	Grupo 3, lado direito, modelo <i>Ar-condicionado</i> , <i>Frente-2</i> . . . . .	157
Tabela D.6	Grupo 3, lado esquerdo, modelo <i>Ar-condicionado</i> , <i>Frente-2</i> . . . . .	157
Tabela D.7	Grupo 4, lado direito, modelo <i>Simples</i> , <i>Pára-brisa-2</i> . . . . .	157
Tabela D.8	Grupo 4, lado esquerdo, modelo <i>Simples</i> , <i>Pára-brisa-2</i> . . . . .	158
Tabela D.9	Grupo 5, lado direito, modelo <i>Simples</i> , <i>Pé-4</i> . . . . .	158
Tabela D.10	Grupo 5, lado esquerdo, modelo <i>Simples</i> , <i>Pé-4</i> . . . . .	158
Tabela F.1	Valores das variáveis dos pares 1 ao 7. . . . .	163
Tabela F.2	Valores das variáveis dos pares 8 ao 14. . . . .	164
Tabela F.3	Valores das variáveis dos pares 15 ao 21. . . . .	164
Tabela F.4	Valores das variáveis dos pares 22 ao 28. . . . .	165
Tabela F.5	Valores das variáveis dos pares 29 ao 34. . . . .	165
Tabela H.1	A ordem apresentada a cada sujeito. . . . .	171
Tabela H.2	As dez ordens de apresentação dos sons utilizadas na segunda avaliação subjetiva. . . . .	172

---

Tabela J.1	Respostas de todos os sujeitos na segunda avaliação subjetiva, para o par <i>grave/agudo</i> . . . . .	184
Tabela J.2	Respostas de todos os sujeitos na segunda avaliação subjetiva, para o par <i>suave/áspero</i> . . . . .	185
Tabela J.3	Respostas de todos os sujeitos na segunda avaliação subjetiva, para o par <i>não-assobiante/assobiante</i> . . . . .	186
Tabela J.4	Respostas de todos os sujeitos na segunda avaliação subjetiva, para o par <i>silencioso/barulhento</i> . . . . .	187
Tabela J.5	Respostas de todos os sujeitos na segunda avaliação subjetiva, para o par <i>não-incômodo/incômodo</i> . . . . .	188
Tabela K.1	Valores das métricas psicoacústicas de seis sons usados na segunda avaliação subjetiva. . . . .	189
Tabela K.2	Valores das métricas psicoacústicas de seis sons usados na segunda avaliação subjetiva. . . . .	190

## *Lista de símbolos*

$\alpha$	nível de significância	
$agu$	previsão da resposta subjetiva do par <i>grave/agudo</i>	
$Asp$	aspereza	[asper]
$asp_{agudeza}$	previsão da resposta subjetiva do par <i>suave/áspero</i> , usando a agudeza como variável independente	
$asp_{aspereza}$	previsão da resposta subjetiva do par <i>suave/áspero</i> , usando a aspereza como variável independente	
$bar$	previsão da resposta subjetiva do par <i>silencioso/barulhento</i>	
$CB_c$	largura de banda crítica	[Hz]
$IF$	intensidade de flutuação	[vacil]
$inc_1$	previsão da resposta subjetiva do par <i>não-incômodo/incômodo</i> , usando <i>loudness</i> e agudeza como variáveis independentes	
$inc_2$	previsão da resposta subjetiva do par <i>não-incômodo/incômodo</i> , usando <i>loudness</i> como variável independente	
$R^2$	coeficiente de determinação	
$\chi_F^2$	cálculo da prova de Friedman	

---

$y$	previsão da resposta subjetiva da percepção de diferença	
$z_c$	índice de banda crítica	[bark]
$\Delta agudeza$	módulo da diferença de agudeza	[acum]
$\Delta aspereza$	módulo da diferença de aspereza	[cAsper]
$\Delta fp$	módulo da diferença da frequência mais proeminente	[Hz]
$\Delta if$	módulo da diferença de intensidade de flutuação	[cVacil]
$\Delta loudness$	módulo da diferença de <i>loudness</i>	[soneGD]
$\Delta loud_I$	módulo da diferença de <i>loudness</i> , de zero a 1 bark	[soneGD]
$\Delta loud_{II}$	módulo da diferença de <i>loudness</i> , de 1,1 a 2,9 bark	[soneGD]
$\Delta loud_{IV}$	módulo da diferença de <i>loudness</i> , de 3,0 a 5,4 bark	[soneGD]
$\Delta loud_V$	módulo da diferença de <i>loudness</i> , de 5,5 a 9,4 bark	[soneGD]
$\Delta loud_{VI}$	módulo da diferença de <i>loudness</i> , de 9,5 a 13,9 bark	[soneGD]
$\Delta loud_{III}$	módulo da diferença de <i>loudness</i> , de 14,0 a 24,0 bark	[soneGD]
$\Delta proem$	módulo da diferença de proeminência	[dB]
$\Delta rtr$	módulo da diferença de razão tom-ruído	[dB]

## *Resumo*

Usando os conceitos e métodos de qualidade sonora, estudou-se o ruído do sistema de condicionamento de ar, ventilação e aquecimento (CAVA) de um modelo de automóvel. Esse ruído é fundamental para o conforto acústico e a percepção da qualidade dos veículos, podendo inclusive influenciar no seu conforto térmico. O trabalho foi dividido em duas etapas. Na primeira, foi gravado o ruído do sistema de CAVA de quinze carros em diferentes combinações de velocidade de ventilação e direcionamento do fluxo de ar. Todos os carros eram recém fabricados e do mesmo modelo, e equipados com um dos três tipos possíveis de sistema de CAVA. Foram feitas análises objetivas, usando-se um software de qualidade sonora, e uma avaliação subjetiva de similaridade, através do método da comparação pareada. A análise estatística (gráficos e regressão linear múltipla) dos dados objetivos e subjetivos, além da utilização de dados qualitativos, permitiu que se identificassem os atributos mais importantes neste tipo de ruído: *loudness*, agudeza, razão tom-ruído e proeminência. Na segunda etapa, novas gravações foram feitas, desta vez de doze carros. Os resultados da primeira avaliação subjetiva auxiliaram na escolha dos ruídos que participariam da segunda, que utilizou o método do diferencial semântico. Com a regressão linear múltipla, chegou-se a equações que modelam os resultados subjetivos a partir das métricas psicoacústicas. Foi demonstrado que o incômodo causado pelo ruído pode ser satisfatoriamente modelado usando-se o *loudness* calculado pelo método de Zwicker.



## *Abstract*

Using methods and techniques of sound quality engineering, the noise of the heating, ventilation and air-conditioning system (HVAC) of an automobile model was studied. Such noise has a great influence on the vehicles acoustical comfort and on overall quality perception of the vehicle. Furthermore, it modifies passengers perception of thermal comfort. The study was divided into two steps. In the first, HVAC-noise of fifteen cars of the same model in different arrangements of fan speed and direction of air flow was recorded. All have just been manufactured, but there were three different types of HVAC-systems. The sounds were analyzed using sound quality software, and a subjective evaluation of similarity, using paired comparison technique, was carried out. By means of statistical analysis (scatter plots and multiple linear regressions) of objective and subjective data, and additional analysis of qualitative data, the most significant attributes of this kind of noise was identified: loudness, sharpness, tone-to-noise ratio and prominence. In the second step, new recordings took place in twelve cars. The results of the first subjective evaluation were used to choose the sounds for the second, which used the semantic differential technique. Using multiple linear regressions on the subjective data, relations between subjective results and psychoacoustic metrics were determined and models to predict subjective response to HVAC sounds are proposed. It is shown that the annoyance caused by the HVAC-noise can be satisfactorily described by Zwicker's stationary loudness model.



# 1 Introdução

Através dos conceitos e métodos da qualidade sonora, estudou-se o ruído do sistema de condicionamento de ar, ventilação e aquecimento (CAVA)<sup>1</sup> de um modelo de automóvel. Esse ruído é fundamental para o conforto acústico e a percepção da qualidade dos veículos. Segundo Roussarie et al. (2005), ele influencia inclusive no conforto térmico, ou seja, as pessoas modificam a sua percepção térmica de acordo com o tipo de ruído a que estão expostas.

O sistema de CAVA do modelo de carro estudado tem quatro velocidades de ventilação e quatro saídas de ar. Pode ter ou não ar-condicionado; também pode ter ou não aquecimento. Na Seção 3.1 (página 42), esse sistema é mostrado mais detalhadamente.

O trabalho foi feito com o apoio de uma montadora de automóveis. A primeira sessão de gravações foi realizada em setembro de 2005: gravou-se o ruído do sistema de CAVA de quinze carros de um mesmo modelo, utilizando o Noisebook, da HEAD acoustics. Todos haviam acabado de sair da linha de montagem, e ainda estavam no pátio da empresa. Para cada carro, dezesseis condições de funcionamento do sistema foram gravadas, resultando em duzentos e quarenta arquivos de som a serem analisados no laboratório. Para cada um desses arquivos, calcularam-se algumas métricas da psicoacústica<sup>2</sup>, utilizando o programa dBSONIC (01dB-Metravib). Foram feitas diversas comparações, tanto entre os valores das métricas (através de gráficos) quanto auditivas: entre os três modelos do sistema de CAVA existentes (chamados, neste trabalho, de *Ar-condicionado*, *Simples* e *Simples/Aquecimento*); entre as quatro velocidades de ventilação; entre as quatro saídas de ar (chamadas aqui de *Pára-brisa*, *Frente*, *Pé* e *Pé/Pára-brisa*). Diferenças significativas foram encontradas de um carro para outro, mesmo que os sons fossem de uma mesma condição de ventilação. Kompella e Bernhard (1996), num trabalho sobre a variação das características acústicas de automóveis, já haviam apontado essas diferenças mesmo em carros recém fabricados. De posse de muitos números e sem se ter referências na literatura

---

<sup>1</sup>Em inglês, esse sistema é chamado de *heating, ventilating and air conditioning system – HVAC*.

<sup>2</sup>Sobre métricas psicoacústicas, ver Seção 2.2.1, página 18.

dos valores daquelas métricas mais adequados para o sistema em estudo, planejaram-se as etapas seguintes do trabalho. Precisava-se reduzir a quantidade de sons para se fazer uma avaliação subjetiva<sup>3</sup> que investigasse a qualidade dos ruídos. Isso foi possível através de uma primeira avaliação para determinar a similaridade entre os sons. Então partiu-se a para próxima etapa: novas gravações, de maior qualidade, utilizando uma cabeça artificial — desta vez foram gravados doze carros, em dezembro de 2005. Com os resultados da avaliação subjetiva anterior, planejou-se uma segunda avaliação com doze sons. Foi montado um diferencial semântico<sup>4</sup> com cinco pares de adjetivos. Os resultados demonstram existir uma boa correlação entre as métricas psicoacústicas e as respostas subjetivas.

Assim, pode-se dividir este trabalho em três partes: **Revisão Bibliográfica** (Capítulo 2); **Primeira etapa: avaliação subjetiva de similaridade** (Capítulo 3); e **Segunda etapa: avaliação subjetiva usando um diferencial semântico** (Capítulo 4). O Capítulo 5 é o das conclusões e o das sugestões para futuros trabalhos. Além desses capítulos, inúmeros apêndices fornecem detalhes do trabalho: as respostas de cada sujeito para cada uma das avaliações subjetivas; os valores das métricas psicoacústicas de cada som que participou das avaliações subjetivas; os comentários feitos pelos sujeitos. Os parágrafos seguintes dão uma visão geral de cada capítulo.

O Capítulo 2 é a revisão bibliográfica e serve como base para a dissertação. Divide-se em três seções, abordando a psicoacústica, a qualidade sonora e alguns estudos do ruído do sistemas de CAVA. Na Seção 2.1 descreve-se rapidamente a orelha humana e o seu mecanismo; apresentam-se também alguns dos conceitos básicos da psicoacústica, tais como a percepção do volume, o mascaramento, as bandas críticas e os efeitos resultantes da superposição de dois tons puros. A Seção 2.2 é uma introdução à qualidade sonora: as principais métricas psicoacústicas são apresentadas e explicadas; técnicas usadas nas avaliações subjetivas são descritas, e também a sua posterior correlação com métricas da psicoacústica. No final, exemplifica-se com algumas aplicações da qualidade sonora na indústria automobilística. Na Seção 2.3 descrevem-se alguns artigos sobre a qualidade do ruído de sistemas de CAVA.

No começo do Capítulo 3 fala-se do sistema de CAVA do modelo de automóvel em estudo. A seguir, explica-se como foram feitas as primeiras gravações (Seção 3.1). Na Seção 3.2, é detalhado como os sons foram editados e como foram calculadas as métricas psicoacústicas. Já a Seção 3.4 trata da primeira avaliação subjetiva: a da similaridade. São explicados os critérios para a seleção dos sons, fala-se da preparação da avaliação,

---

<sup>3</sup>Sobre avaliações subjetivas, ver Seção 2.2.2, página 23.

<sup>4</sup>Sobre diferencial semântico, ver Seção 2.2.2.6, página 27.

dos procedimentos utilizados, do questionário. Foi escolhido o método da comparação pareada, com a utilização de uma escala por linhas. Os resultados são apresentados na Seção 3.5. Análises são feitas da Seção 3.6 à 3.8: sobre os pares que se repetem na comparação pareada e a aplicação da prova estatística de Friedman. A Seção 3.9 trata da correlação entre os dados subjetivos e as métricas psicoacústicas. A investigação é feita por gráficos, pelos comentários dos sujeitos e pela regressão linear múltipla. Finalmente, as conclusões são apresentadas na Seção 3.10.

O Capítulo 4 é organizado da mesma forma que o 3. Na Seção 4.1 fala-se do método utilizado para as novas gravações, feitas desta vez com uma cabeça artificial; a seguir, da edição dos sons e do cálculo das métricas psicoacústicas. A segunda avaliação subjetiva é apresentada na Seção 4.3: explicam-se ali os critérios para a seleção dos sons, utilizando-se os resultados da primeira avaliação; de como se montou o diferencial semântico; da preparação e dos procedimentos utilizados; do questionário. Os resultados são apresentados na Seção 4.4. Análises são feitas da Seção 4.5 à 4.7. Na Seção 4.8 discutem-se os comentários dos sujeitos. A Seção 4.9 trata da correlação entre os dados subjetivos e as métricas psicoacústicas. A investigação é feita por gráficos e pela regressão linear múltipla. Finalmente, as conclusões são apresentadas na Seção 4.11.

No Capítulo 5 se apresentam as conclusões: as métricas psicoacústicas mais importantes na percepção do ruído do sistema de CAVA; as principais equações para a modelagem da percepção da diferença entre dois desses ruídos; e a modelagem do incômodo que esse ruído causa. Além disso, são feitas sugestões para trabalhos futuros.

Neste trabalho, optou-se por evitar o uso de palavras de língua estrangeira. Assim, como as métricas da psicoacústica não têm denominações consolidadas em português, arriscou-se a traduzi-las sempre que possível. Por exemplo, usou-se “aspereza” ao invés de “roughness”. Mas, para evitar dúvidas e orientar os leitores, criou-se o Apêndice A: uma lista daqueles termos amplamente usados em inglês mas que não têm uma forma consolidada em português; e também de outros que a têm — para ajudar o leitor quando for buscar as referências em inglês.



## 2 *Revisão Bibliográfica*

O objetivo deste capítulo é servir de base para a dissertação. Divide-se em três seções, abordando a psicoacústica, a qualidade sonora e alguns estudos do ruído de sistemas de CAVA.

Na Seção 2.1 descreve-se rapidamente a orelha humana e o seu mecanismo; apresentam-se também alguns dos conceitos básicos da psicoacústica, tais como a percepção do volume, o mascaramento, as bandas críticas e os efeitos resultantes da superposição de dois tons puros.

A Seção 2.2 é uma introdução à qualidade sonora. As principais métricas psicoacústicas são apresentadas e explicadas. Técnicas usadas nas avaliações subjetivas são descritas, e também a sua posterior correlação com métricas da psicoacústica. No final, exemplifica-se com algumas aplicações da qualidade sonora na indústria automobilística.

Na Seção 2.3 descrevem-se alguns artigos sobre a qualidade do ruído de sistemas de CAVA.

### 2.1 **Conceitos básicos da psicoacústica**

A psicoacústica estuda a correlação entre os estímulos acústicos e as sensações auditivas. Nos experimentos, os estímulos normalmente são apresentados por alto-falantes ou fones de ouvido. Como resultado, obtém-se uma relação entre as magnitudes físicas do estímulo e as magnitudes das sensações auditivas correlacionadas. Essa relação pode ser dada tanto por equações quanto por gráficos, e ela dependerá também do método utilizado para medi-la. Também é interessante observar que uma pequena variação na magnitude do estímulo não necessariamente leva a uma variação na magnitude da sensação. Isso ocorre porque é necessário que haja uma variação mínima no estímulo para que seja percebida uma variação na sensação, conhecida como limiar da diferença<sup>1</sup> [Zwicker,

---

<sup>1</sup>Em inglês, *difference thresholds*

Fastl, 1999].

Vários são os temas de estudo da psicoacústica, dentre eles podem-se destacar a percepção dos tons, do volume, do ritmo e o mascaramento.

### 2.1.1 A orelha humana

A orelha humana pode ser dividida em três partes: orelha externa, orelha média e orelha interna<sup>2</sup>, conforme mostra a Figura 2.1. Quando o som atinge a orelha humana, as ondas sonoras percorrem o canal externo e chegam à membrana timpânica, fazendo-a vibrar. As vibrações são transmitidas para a entrada da orelha interna através de três ossos: o martelo, a bigorna e o estribo, que funcionam como um mecanismo de amplificação sonora. O estribo está ligado a uma membrana da cóclea chamada janela oval. A cóclea, por sua vez, tem a forma de um túnel cônico em espiral, e o seu tamanho é similar ao de uma bola de gude. Ela pode ser dividida em dois canais, escala vestibular e escala timpânica, que estão preenchidos pela perilinfa, um líquido incompressível. Os canais estão ligados entre si em uma das extremidades, o ápice, através de um orifício chamado helicotrema. Na outra extremidade há uma membrana elástica na janela redonda, além da janela oval, que são responsáveis pela comunicação com a orelha média. Separando a escala vestibular da escala timpânica há um duto chamado de duto coclear, preenchido por um fluido, a endolinfa. O duto coclear se separa da escala vestibular através da membrana de Reissner e da escala timpânica através da membrana basilar.

Da base até o ápice, a rigidez da membrana basilar decresce 10.000 vezes. O seu comprimento, num ser humano adulto, é de cerca de 34 mm. As vibrações do estribo, ligado à janela oval, são convertidas em oscilações de pressão da perilinfa na escala vestibular, o que induz à vibração da membrana basilar. A frequência de entrada determinará o ponto em que a membrana basilar vibrará com amplitude máxima. Esses movimentos são captados por células capilares distribuídas ao longo da membrana, que transmitem a informação às células nervosas [Gerges, 2000] [Roederer, 1998].

A Figura 2.2 mostra como a posição  $x$  da amplitude máxima da ressonância da membrana basilar varia com a frequência de um tom puro. Por exemplo, um tom de 2 kHz incidente na orelha provocará uma ressonância na membrana basilar cuja amplitude má-

---

<sup>2</sup>Roederer (1998) usa os termos “ouvido externo”, “ouvido médio” e “ouvido interno”, além de “*scala vestibuli*” ao invés de “escala vestibular”, “*scala tympani*” ao invés de “escala timpânica”, dentre outros. Esses termos, entretanto, não estão de acordo com as normas da ABNT. Porém, preferiu-se não mexer nas figuras retiradas deste livro, o que explica as discrepâncias entre as palavras usadas no texto e nas figuras.

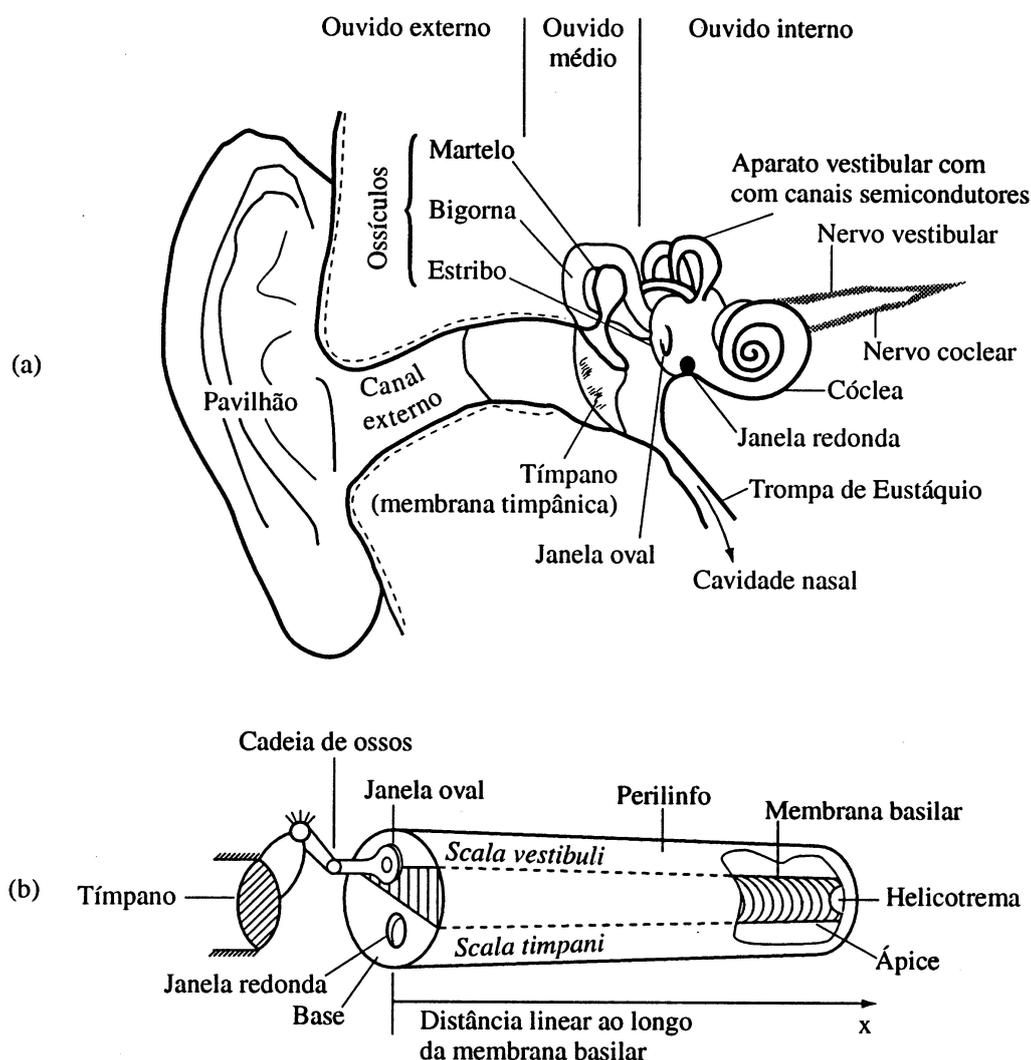


Figura 2.1: (a) Vista esquemática da orelha, fora de escala [Flanagan, 1972]; (b) a cóclea desenrolada (bem simplificada) [Roederer, 1998].

xima estará a aproximadamente 15 mm da base, enquanto que um tom de 3 kHz provocará o máximo na amplitude a aproximadamente 13 mm da base. Essa posição determinará a correspondente sensação de altura. Nota-se que, sempre que a frequência do tom é dobrada, correspondendo a um intervalo de uma oitava na escala musical, a região de ressonância na membrana basilar desloca-se entre 3,4 e 3,5 mm.

### 2.1.2 Percepção do volume

A audição humana é capaz de perceber variações de pressão sonora entre  $20 \mu\text{Pa}$  e  $100 \text{Pa}$ , dentro da faixa de frequências audíveis. Essas pressões podem ser quantificadas através de um medidor do nível de pressão sonora (NPS). O NPS, no entanto, não

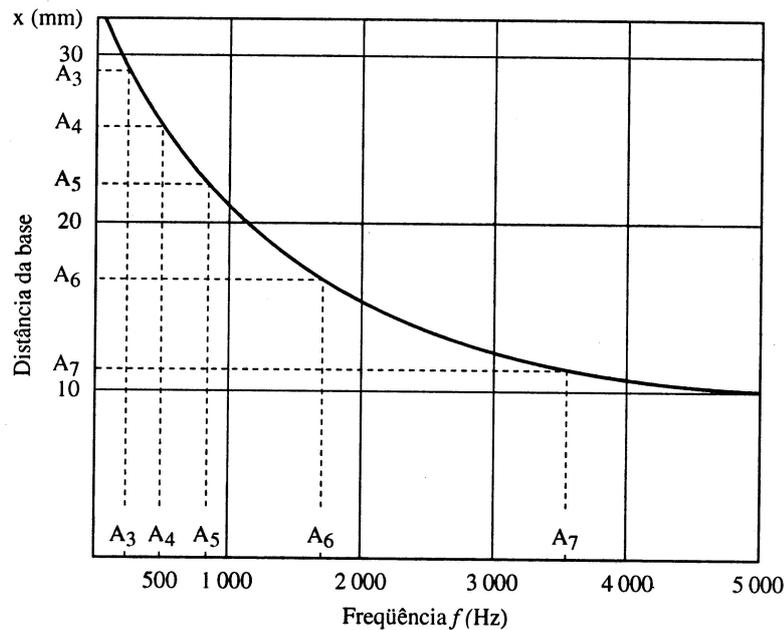


Figura 2.2: Posição do máximo de ressonância da membrana basilar para um som puro de frequência  $f$  [Von Békésy, 1960]

representa o volume sonoro, mas a intensidade. Um tom de 60 Hz e outro de 1000 Hz que possuam o mesmo valor de NPS não serão percebidos como tendo o mesmo volume. Isso ocorre porque o volume não depende apenas da intensidade sonora, mas de outras variáveis como a largura de banda, o espectro e a duração.

A relação entre o estímulo sonoro e a sensação volume pode ser medida por comparação, perguntando-se ao sujeito o quanto um determinado som é mais, ou menos, volumoso que um padrão. A forma mais simples de se fazer isso é pedir ao sujeito que incremente ou reduza o nível do som de forma que ele atinja o dobro ou metade do volume do padrão.

Em 1933, Fletcher e Munson publicaram o resultado dos seus estudos sobre a percepção do volume. Eles traçaram as conhecidas curvas isofônicas (ou seja, de mesmo volume), mostradas na Figura 2.3, em que o nível de volume é dado em phons. As curvas isofônicas aplicam-se a tons puros, isto é, o nível de pressão sonora de tons puros com o mesmo volume é dado em função da frequência.

Quando tons de frequências diferentes são escutados ao mesmo tempo, três regimes podem ser identificados na percepção do volume. Caso os tons estejam todos dentro da banda crítica da frequência central, o volume percebido “estará diretamente relacionado à intensidade total (fluxo de energia)”<sup>3</sup>. As bandas críticas<sup>4</sup> podem ser determinadas por

<sup>3</sup>In: Roederer (1998), p. 137.

<sup>4</sup>Sobre bandas críticas, ver a Seção 2.1.4, na página 13.

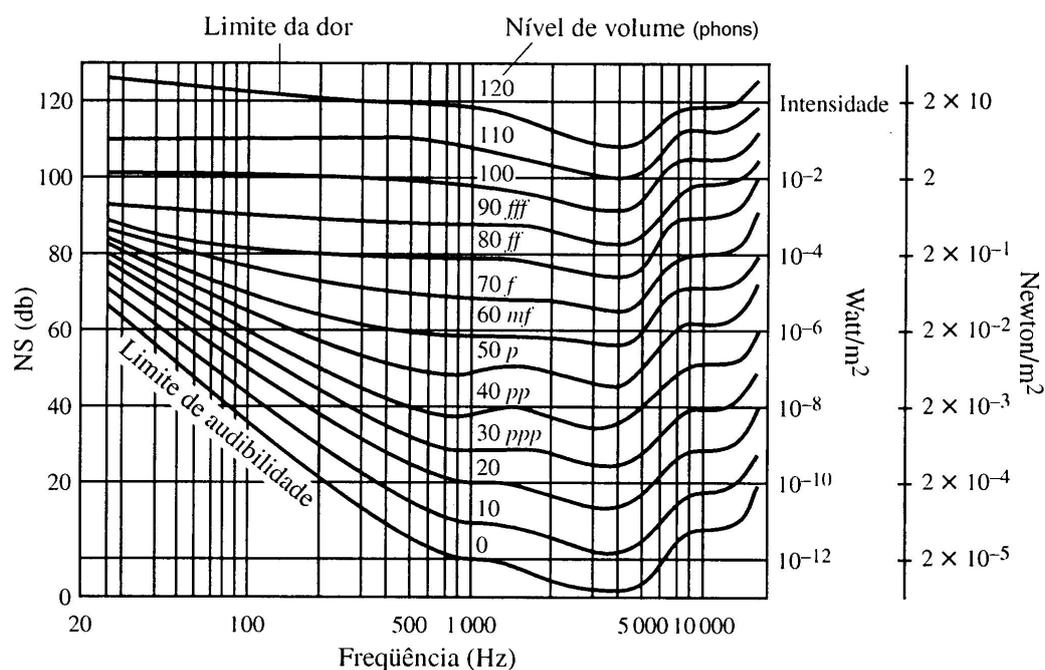


Figura 2.3: Curvas isofônicas [Fletcher e Munson, 1933].

esta propriedade. Caso os tons excedam a banda crítica, o volume resultante será maior do que se eles estivessem todos dentro da mesma banda crítica. Se os volumes de cada tom forem muito diferentes, deve-se levar em conta o mascaramento. Caso as frequências dos tons sejam muito diferentes, o volume é mais difícil de ser determinado. “As pessoas tendem a se concentrar em apenas uma das notas componentes (p. ex., a mais forte, ou a mais aguda) e atribuem a sensação de volume total apenas àquela componente”<sup>5</sup>.

Uma importante relação do volume é o quanto ele varia com a largura de banda de um ruído, mantendo-se o mesmo nível de pressão sonora. Para pequenas larguras de banda, o volume é independente da largura de banda. Para larguras de banda maiores que a banda crítica, o volume cresce quando a largura de banda cresce.

Para que um som senoidal transmita a sensação de tom, ele deve ter uma duração mínima de 10 a 15 milissegundos, ou, se a frequência for menor que 50 Hz, de 2 a 3 períodos de oscilação. Caso contrário, estes sons serão percebidos como estalidos, e não como sons de altura e volume definidos. A duração do som determina o volume subjetivo, mas não a altura [Plomb e Bouman, 1959]. O volume de um tom diminui se a sua duração for menor que 1 s, mantendo-se a sua amplitude constante. Acima disso, o volume é praticamente independente da duração, como se pode ver na Figura 2.4.

Outro efeito bastante conhecido relativo ao volume é o da adaptação, que é a “dimi-

<sup>5</sup>In: Roederer (1998), p. 138.

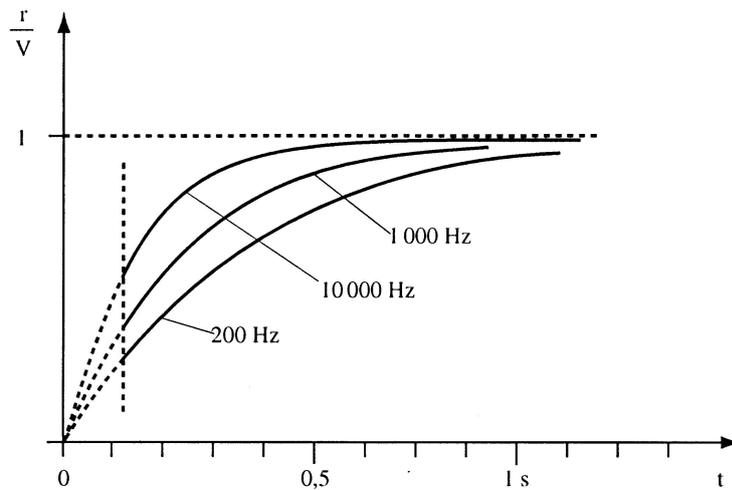


Figura 2.4: Volume relativo de sons puros de curta duração.  $r/V$ : razão entre o volume de um som de curta duração ( $r$ ) e o volume ( $V$ ) de um som contínuo de mesma frequência e amplitude [Roederer, 1998].

nuição do volume subjetivo quando um som de intensidade constante for ouvido por vários minutos.”<sup>6</sup> Quando um som de alta intensidade chega à orelha, os músculos existentes na orelha média são ativados para dificultar a propagação das vibrações do tímpano até a orelha interna. O amortecimento pode chegar a 20 dB, e o tempo para que os músculos sejam ativados é de 100 a 200 ms [Lima, 2005].

### 2.1.3 Superposição de tons puros

Quando dois tons puros incidem na orelha ao mesmo tempo, dois tipos de efeitos podem ocorrer: os de primeira ordem, quando o processamento ocorre no fluido coclear e ao longo da membrana basilar; e os de segunda ordem, quando eles derivam do processamento neural.

#### 2.1.3.1 Efeitos de primeira ordem

a) Frequências e amplitudes iguais. Quando os dois tons têm a mesma frequência e amplitude, o som resultante terá também a mesma frequência, mas com amplitude dependente da diferença de fase entre eles. Se não houver diferença de fase, a amplitude resultante será o dobro da original; se a diferença for de  $180^\circ$ , a amplitude resultante será zero, ou seja, os dois tons se cancelarão.

<sup>6</sup>In: Roederer (1998), p.142.

b) Amplitudes iguais mas frequências diferentes. Considere inicialmente dois tons com mesma frequência e amplitude. Um deles terá a frequência  $f_1$  fixada. Vai-se então variar a frequência  $f_2$  do outro, aumentando-a de forma gradativa (ou diminuindo-a, os resultados qualitativos são os mesmos). Quando a diferença de frequência entre  $f_1$  e  $f_2$  for suficientemente pequena, o que se ouvirá será um único tom, de frequência  $f_{bat}$  definida pela Equação (2.1), mas de amplitude variável, sendo que a variação da amplitude, ou envoltória, terá como frequência o módulo da diferença entre  $f_1$  e  $f_2$ . Esse fenômeno é conhecido como batimento.

$$f_{bat} = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (2.1)$$

Os batimentos são percebidos claramente para diferenças entre  $f_1$  e  $f_2$  de até 10 Hz. Acima de 15 Hz, a sensação é de aspereza. Aumentando-se um pouco mais a diferença entre  $f_1$  e  $f_2$ , ultrapassa-se o limite de discriminação de frequência, então dois tons separados são percebidos, mas ainda com uma sensação de aspereza. Aumentando-se mais ainda a diferença entre as frequências, a sensação de aspereza desaparece, e esta diferença  $\Delta f_{CB}$  entre  $f_1$  e  $f_2$ , em que ocorre a transição da aspereza à suavidade, é chamada de banda crítica<sup>7</sup>. Todos estes limites, entretanto, não são bem definidos, as transições de um estágio a outro são graduais. A Figura 2.5 mostra esquematicamente os fenômenos explicados neste item.

c) Sons resultantes e harmônicos aurais. Quando a diferença entre os tons de frequência  $f_1$  e  $f_2$  ultrapassa a banda crítica, outros efeitos ocorrem, e estes são percebidos com mais facilidade para os casos em que as intensidades dos tons são altas. Quando esses dois tons soam simultaneamente, induzem à sensação de tons adicionais que não estão presentes na onda sonora. Esses tons têm frequências que são combinações lineares de  $f_1$  e  $f_2$ , e cada uma dessas frequências é ouvida quando a diferença entre  $f_1$  e  $f_2$  possui determinada faixa de valores. As combinações mais facilmente identificadas são dadas pelas Equações (2.2), (2.3) e (2.4) [Roederer, 1998]:

$$f_{c1} = f_2 - f_1 \quad (2.2)$$

$$f_{c2} = 2f_1 - f_2 \quad (2.3)$$

---

<sup>7</sup>Sobre bandas críticas, ver a Seção 2.1.4, na página 13.

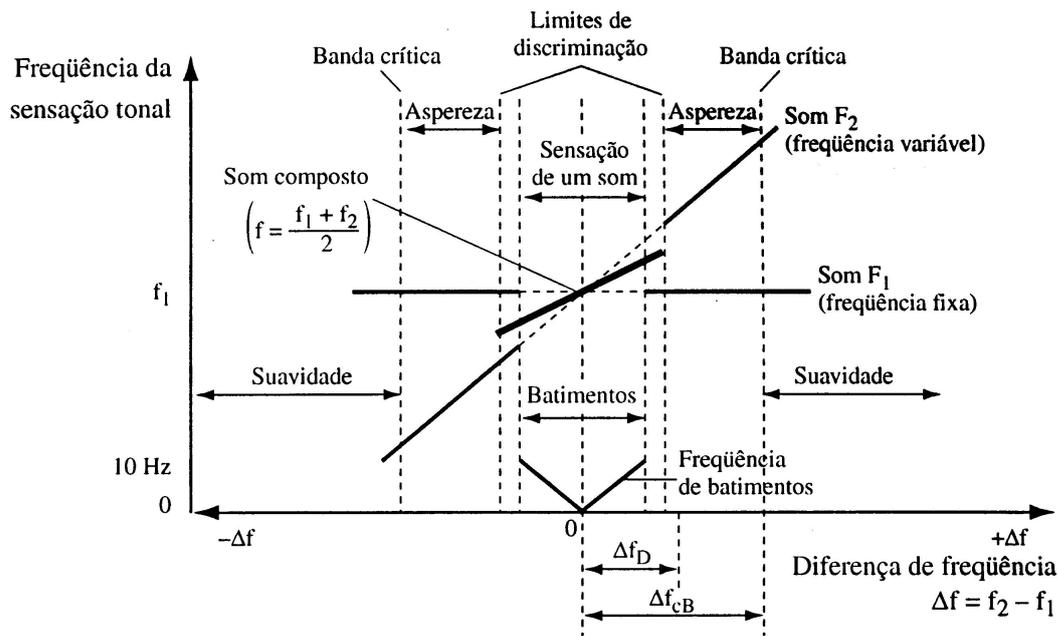


Figura 2.5: Representação esquemática da percepção do sistema auditivo à superposição de dois tons, com frequências próximas  $f_1$  e  $f_2$ , sendo  $f_1$  fixa e  $f_2$  variável [Roederer, 1998].

$$f_{c3} = 3f_1 - 2f_2 \quad (2.4)$$

Quando o volume de um tom de frequência  $f_1$  for muito alto, a sensação auditiva terá outros tons adicionais, além do tom original, de frequências  $2f_1$ ,  $3f_1$ ,  $4f_1$  e assim por diante. Estes tons adicionais são chamados de harmônicos aurais.

### 2.1.3.2 Efeitos de segunda ordem

Os efeitos de segunda ordem também são chamados de batimentos subjetivos, e são resultantes do processamento neural. Eles podem ser percebidos mesmo quando os tons têm um baixo nível de intensidade, e mesmo que um tom seja enviado para uma orelha e o outro tom seja enviado para a outra orelha. Além disso, os tons devem ter a frequência menor que 1500 Hz [Roederer, 1998].

Roederer (1998), a respeito dos batimentos subjetivos, afirma que “é difícil descrever o que está batendo.”<sup>8</sup> Os batimentos subjetivos ocorrem nas proximidades de certas consonâncias musicais, como a oitava ( $f_2 = 2f_1$ ), a quinta ( $f_2 = 3/2f_1$ ) e a quarta ( $f_2 = 4/3f_1$ ). Caso se tenha uma oitava desafinada, ou seja,  $f_2 = 2f_1 \pm \varepsilon$ , onde  $\varepsilon$  equivale

<sup>8</sup>In: Roederer (1998), p. 68.

a poucos hertz, os batimentos aparecerão numa frequência igual a  $\varepsilon$ . Para a quarta e a quinta, esta frequência será de  $3\varepsilon$  e  $2\varepsilon$ , respectivamente.

### 2.1.4 Bandas críticas

O conceito de bandas críticas<sup>9</sup> é um dos mais básicos na psicoacústica. De forma simplificada, assume-se que o som é analisado pelo sistema auditivo por vários filtros passa-bandas. A largura de banda desses filtros, chamada de largura de banda crítica, é definida em função da frequência, de acordo com a Figura 2.6 [Fastl, 1997]. As bandas críticas possuem um certo comprimento em função da frequência mas as suas posições na escala da frequência não são fixas. Ou seja, para cada frequência haverá uma banda crítica associada. Com uma precisão de  $\pm 10\%$ , a Equação (2.5) relaciona a largura de banda crítica  $CB_c$  com a frequência  $f$  [Zwicker e Terhardt, 1980].

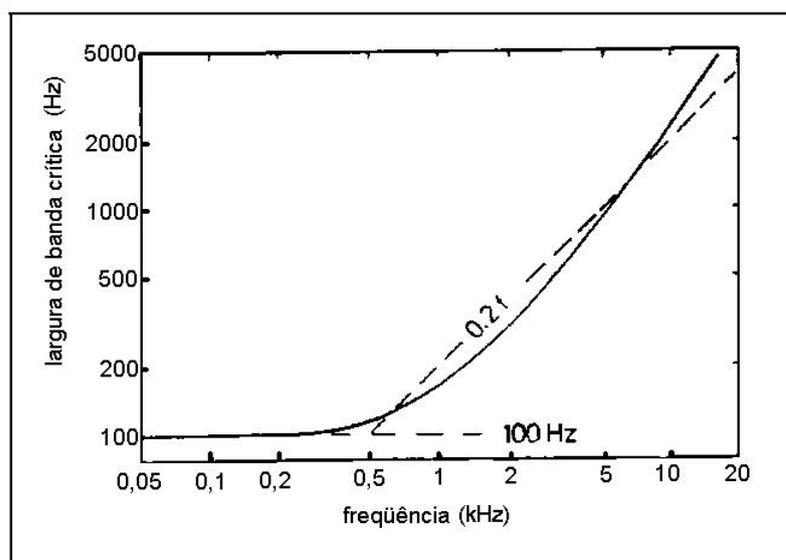


Figura 2.6: Largura de banda crítica em função da frequência. As linhas pontilhadas são aproximações para altas e baixas frequências [Fastl, 1997].

$$\frac{CB_c}{\text{Hz}} = 25 + 75 \left[ 1 + 1,4 \left( \frac{f}{\text{kHz}} \right) \right]^{0,69} \quad (2.5)$$

Caso se coloque as bandas críticas próximas umas das outras, adicionando uma a outra de modo que o limite superior de uma corresponda ao limite inferior de outra, pode-se deduzir o que se chama de índice de banda crítica<sup>10</sup> ou escala Bark<sup>11</sup>. A Figura 2.7 mostra

<sup>9</sup>Em inglês, *critical bandwidth*.

<sup>10</sup>Em inglês, *critical band rate*.

<sup>11</sup>O nome Bark foi escolhido para homenagear o físico alemão Heinrich Barkhausen (1881-1956) [Fastl, 1997].

a escala Bark em função da frequência, em Hertz. Uma das vantagens da escala Bark é a sua linearidade com as características fisiológicas do sistema auditivo humano, isto é, com o comprimento da membrana basilar na orelha interna [Fastl, 1997]. Em baixas frequências, o índice de banda crítica é proporcional à frequência, enquanto que, em altas frequências, é proporcional ao seu logaritmo. Com a Equação (2.6), pode-se calcular o índice de banda crítica  $z_c$  em função da frequência  $f$ , com precisão de  $\pm 0,2 \text{Bark}$  [Zwicker e Terhardt, 1980].

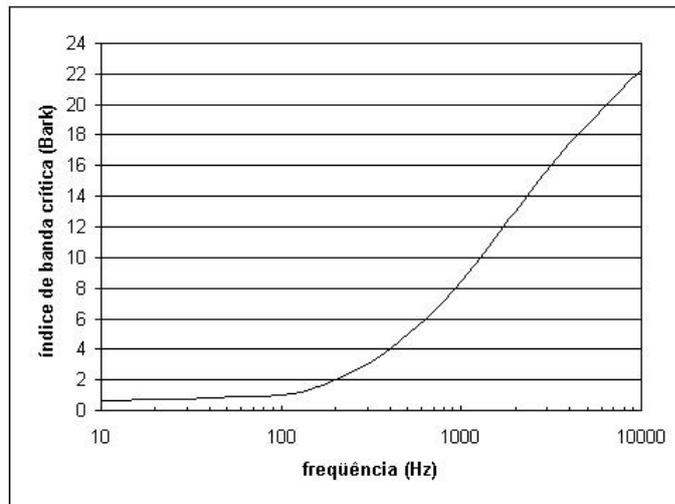


Figura 2.7: Índice de banda crítica em função da frequência.

$$\frac{z_c}{\text{Bark}} = 13 \arctg \left( 0,76 \frac{f}{\text{kHz}} \right) + 3,5 \arctg \left( \frac{f}{7,5 \text{kHz}} \right)^2 \quad (2.6)$$

### 2.1.5 Mascaramento

O mascaramento ocorre quando um som, dito mascarado, não é percebido por estar na presença de outro, dito mascarador. O mascaramento tem características espectrais e temporais. Os estudos nessa área podem ser divididos da seguinte forma [Zwicker, Fastl, 1999]:

- a) Mascaramento de tons puros por ruído (tanto ruídos de banda larga quanto de banda estreita).
- b) Mascaramento de tons puros por tons puros ou complexos<sup>12</sup>.
- c) Efeitos temporais do mascaramento, isto é, quando mascarado e mascarador ocor-

<sup>12</sup>Um som chamado de tom puro é um som composto por uma única frequência. Um tom complexo seria um som composto por uma componente fundamental e os seus harmônicos.

rem ao mesmo tempo; quando o mascarado ocorre depois do mascarador (pós-mascaramento); quando o mascarado ocorre antes do mascarador (pré-mascaramento).

d) Mascaramento temporal e espectral misturados.

Este texto apresenta três gráficos com o objetivo apenas de ilustrar os estudos feitos nessa área e os seus resultados. Na Figura 2.8, as curvas cheias representam o nível mínimo de um tom puro, em função da frequência, para que ele possa ser percebido quando estiver na presença de um ruído branco de intensidade  $I_{WN}$ . Por exemplo, se o ruído branco tiver intensidade de 40 dB, um tom de 1 kHz deverá ter intensidade de aproximadamente 60 dB para que ele deixe de ser mascarado.

Na Figura 2.9, o mascarador é um ruído com banda de 160 Hz e centrado em 1 kHz. Caso o ruído tenha intensidade de 40 dB, um tom de 1 kHz, para ser percebido na presença desse ruído, deverá ter pelo menos 38 dB. Já um tom de 5 kHz não seria mascarado.

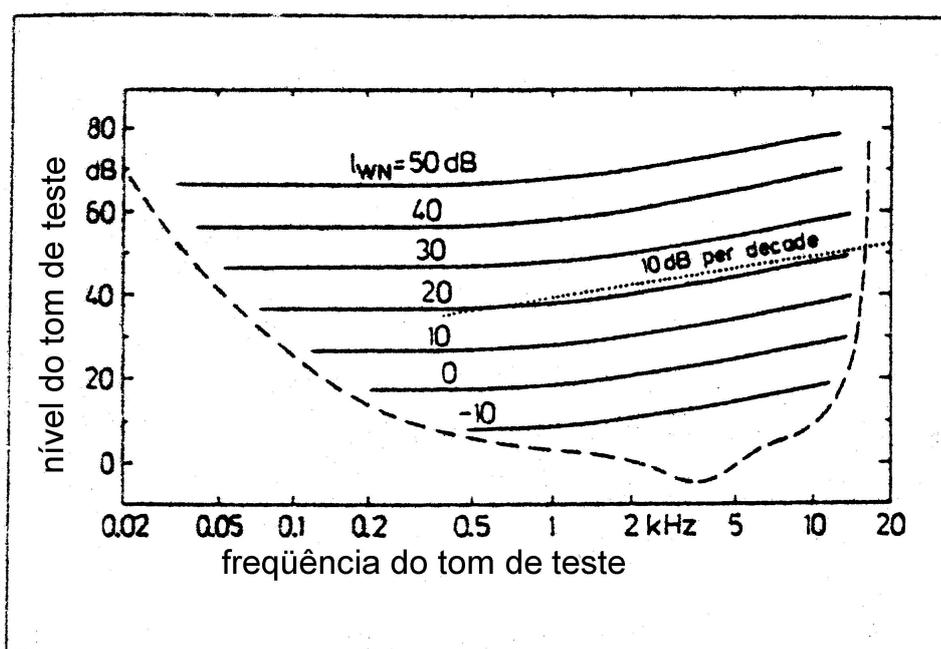


Figura 2.8: Nível mínimo de um tom puro, em função da frequência, para que ele possa ser percebido quando estiver na presença de um ruído branco de nível  $I_{WN}$ . A curva pontilhada indica o limiar da audição [Fastl, 1997].

Os efeitos temporais do mascaramento também são importantes. Um exemplo de pós-mascaramento é mostrado na Figura 2.10. O experimento consiste em apresentar um som mascarador de 0,5 s ao sujeito e, quando este sinal terminar, espera-se um intervalo de tempo  $t_d$  e apresenta-se um pulso de curta duração, que é o som mascarado. A Figura 2.10 mostra o nível mínimo do som mascarado para que ele comece a ser percebido, em função

de  $t_d$ , para valores diferentes do nível  $L_{WN}$  do mascarador. As pesquisas mostram que a duração do mascarador também influencia nos resultados [Zwicker, Fastl, 1999]. Existe também o pré-mascaramento, em que pulsos de curta duração podem ser mascarados por um som de maior intensidade que ocorra até por volta de 10 ms após o pulso.

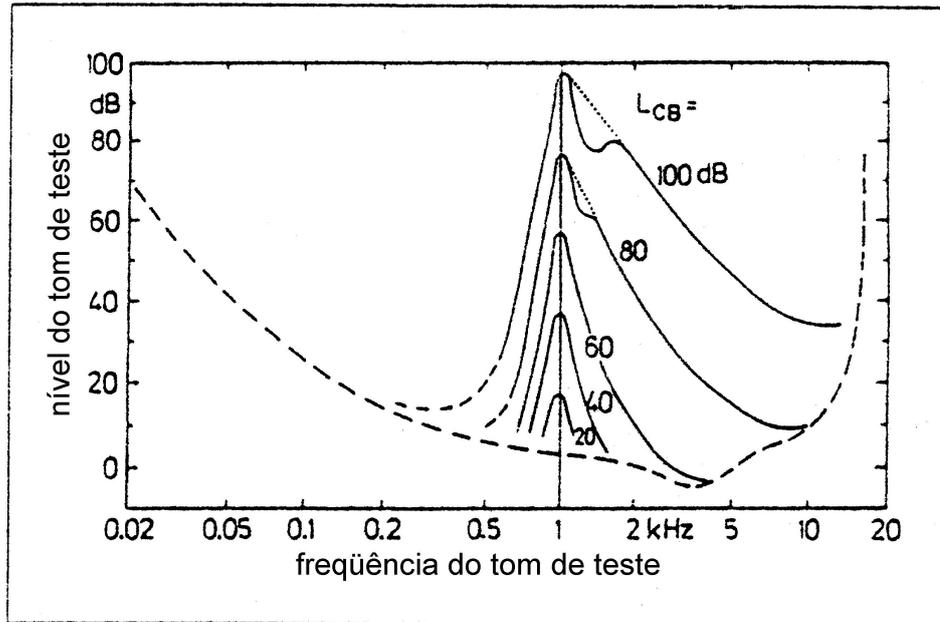


Figura 2.9: Nível mínimo de um tom puro, em função da frequência, para que ele possa ser percebido quando estiver na presença de um ruído com banda de 160 Hz e centrado em 1 kHz. O nível do ruído é indicado por  $L_{CB}$ . A curva pontilhada indica o limiar da audição [Fastl, 1997].

## 2.2 Qualidade Sonora

Os primeiros trabalhos que objetivavam melhorar a sonoridade dos produtos apenas se esforçavam para diminuir a emissão de energia acústica. Naquela época, os produtos eram bem mais barulhentos e podiam até ser prejudiciais aos usuários expostos a eles por um longo período. Na década de 1980, outras características do som começaram a ser consideradas, já que dois produtos com a mesma intensidade sonora podem soar muito diferentes. Dessa forma, a qualidade sonora busca não apenas tornar mais agradáveis os sons dos produtos, mas adequá-los a um determinado propósito técnico. Blauert e Bodden (1994) apresentam o exemplo do ruído de uma máquina de café, o qual não pode ser reduzido a zero, pois serve de informação sobre as etapas de funcionamento da máquina, mas também não pode ser amplificado ao máximo, pois dificultará a comunicação entre

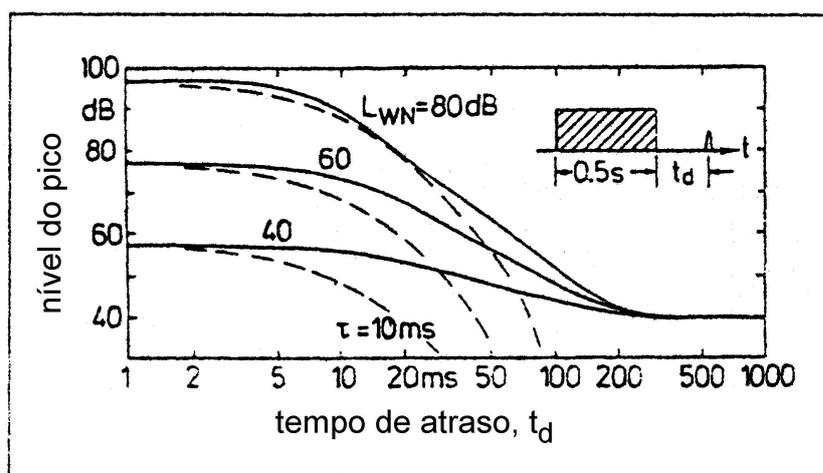


Figura 2.10: Pós-mascaramento: nível mínimo de um pulso de curta duração para que ele possa ser percebido quando antecedido de um som mascarador de 0,5 s e nível  $L_{WN}$ , em função do intervalo de tempo  $t_d$  entre o pulso e o mascarador. As curvas pontilhadas correspondem a um decaimento exponencial com uma constante de tempo de 10 ms. [Fastl, 1997].

as pessoas que preparam o café. Segundo eles, o som tem que ser agradável ou, pelo menos, não pode ser desagradável; também precisa ser identificável, ou seja, o ruído de uma máquina de café deve ser reconhecido como tal.

As principais etapas da qualidade sonora são: gravação e edição dos eventos sonoros desejados; o cálculo das métricas da psicoacústica; os testes subjetivos e a conseqüente análise estatística; a correlação entre os testes subjetivos e as métricas da psicoacústica.

Os testes subjetivos procuram descobrir qual o julgamento que as pessoas dão aos eventos sonoros em estudo, de acordo com os objetivos do projeto. Por serem custosos e demorados, procura-se substituí-los por cálculos matemáticos, utilizando-se das métricas psicoacústicas, através da correlação entre um e outro. Dessa forma, espera-se prever o resultado dos testes subjetivos através do cálculo dessas métricas.

A gravação é preferencialmente bi-auricular<sup>13</sup>, utilizando uma cabeça e torso artificiais: um manequim que tem um microfone inserido no lugar de cada ouvido, de forma a reproduzir da melhor forma possível a percepção auditiva humana. É necessário também equalizar a gravação, pois fenômenos físicos como difrações, reflexões e ressonâncias, que ocorrem no corpo humano, também influenciam o que é escutado [Lima, 2005]. A Figura 2.11 mostra a cabeça e torso artificiais do Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC.

<sup>13</sup>Em inglês, *binaural*.



Figura 2.11: Cabeça e torso artificiais do Laboratório de Vibrações e Acústica da Universidade Federal de Santa Catarina, dentro de uma sala de testes que simula o interior de um avião.

## 2.2.1 Métricas psicoacústicas

### 2.2.1.1 Intensidade de flutuação

Modulações de até cerca de 20 Hz do sinal sonoro conduzem a uma percepção auditiva chamada de intensidade de flutuação <sup>14</sup>. Tomando-se a intensidade de flutuação em função da frequência de modulação, notar-se-á que ela apresenta características de um filtro passa-bandas com frequência central por volta de 4 Hz, ou seja, a intensidade de flutuação apresenta valores maiores quando a frequência de modulação gira em torno de 4 Hz, o que é válido tanto para modulações em amplitude quanto em frequência. Para variações temporais na envoltória do sinal de até 3 dB, não se percebe a intensidade de flutuação, após este limite, seu valor cresce linearmente. Para um aumento no nível do sinal de 40 dB, o valor da intensidade de flutuação aumenta por um fator de 3 [Fastl, 1997].

Sua unidade é o vacil. A intensidade de flutuação de um tom senoidal de 1 kHz e nível de 60 dB, modulado em amplitude numa frequência de 4 Hz e fator de modulação 1, é definido como 1 vacil.

Para o cálculo da intensidade de flutuação, a Equação (2.7), proposta por Zwicker e Fastl, é uma das mais utilizadas [Lima, 2005]:

---

<sup>14</sup>Em inglês, *fluctuation strength*.

$$IF = 0,008 \cdot \frac{\int_0^{24 \text{Bark}} \Delta L \cdot dz}{\left(\frac{f_{mod}}{f_0} + \frac{f_0}{f_{mod}}\right)} \quad (2.7)$$

onde:

$IF$  é a intensidade de flutuação em vacil;

$\Delta L$  é a amplitude de modulação;

$f_{mod}$  é a frequência de modulação;

$f_0$  é igual a 4 Hz.

### 2.2.1.2 Aspereza

Modulações entre 15 e 300 Hz do sinal sonoro conduzem a uma percepção auditiva de aspereza<sup>15</sup>. Não há um limite rigoroso entre a intensidade de flutuação e a aspereza. Tomando-se a aspereza em função da frequência de modulação, notar-se-á que ela apresenta características de um filtro passa-bandas com frequência central por volta de 70 Hz. Quanto maior o grau de modulação, maior será a aspereza, o que é válido para sons de banda estreita e larga. Para um aumento no nível do sinal de 40 dB, o valor da aspereza aumenta por um fator de 3, válido tanto para modulações de amplitude quanto de frequência [Fastl, 1997].

Sua unidade é o asper. A aspereza de um tom senoidal de 1 kHz e nível de 60 dB, modulado em amplitude numa frequência de 70 Hz e fator de modulação 1, é definido como 1 asper.

Pode-se calcular a aspereza pela Equação (2.8) [Lima, 2005]:

$$Asp = 0,3 \cdot f_{mod} \cdot \int_0^{24 \text{Bark}} \Delta L_{MASK}(z) \cdot dz \quad (2.8)$$

onde:

$Asp$  é a aspereza em asper;

$\Delta L_{MASK}$  é a amplitude de modulação, que leva em conta os modelos de mascaramento temporal;

$f_{mod}$  é a frequência de modulação.

---

<sup>15</sup>Em inglês, *roughness*.

### 2.2.1.3 Loudness

Para se medir o volume dos sons comumente escutados no dia a dia, que possuem uma ampla faixa de frequências, foi necessário o desenvolvimento de métodos que se aproximassem da sensação auditiva. O primeiro deles, regulamentado pela ISO, foi concebido através de curvas de ponderação, conhecidas como curvas A, B, C e D, e medem o nível de pressão sonora. Embora a curva A se aplique apenas a sons de nível mais baixo, variando entre 20 e 55 dB, ela foi adotada como padrão, e o nível medido por este método é conhecido como dB(A). Entretanto, para níveis maiores, o uso da curva A implica numa estimativa menor do volume percebido para as baixas frequências. As curvas de ponderação também não consideram a dependência do volume pela largura de banda. Mantendo-se o nível em dB(A) constante, o volume percebido aumentará caso se aumente a largura de banda do som. Dessa forma, para sons com uma ampla faixa de frequências, uma medição pelas curvas de ponderação terá um resultado abaixo da real sensação de volume [Fastl, 1997].

Posteriormente, outros procedimentos foram desenvolvidos. O *loudness*<sup>16</sup> correlaciona-se melhor com o volume sonoro percebido. Três procedimentos são comumente utilizados para o seu cálculo: o proposto por S. S. Stevens baseia-se na análise por oitavas, enquanto que os propostos por K. D. Kryter, usado para a certificação de ruídos de aeronaves, e E. Zwicker, usado para todos os tipos de ruídos, como também fala e música, baseiam-se na análise por bandas de um terço de oitava [Fastl, 1997]. A norma ISO 532, de 1975, padroniza o cálculo do *loudness* de Stevens (método A) e Zwicker (método B). O método de Zwicker encontra-se normatizado também pela DIN 45631.

---

<sup>16</sup>Não se encontrou nenhum termo em português adequado para substituir *loudness*: nem “sonoridade”, nem “ruidosidade”, nem “volume”, e nenhum outro. “Loud”, o adjetivo do qual “loudness”, substantivo, é derivado, pode ser definido como “marked by or producing a high volume of sound” [Longman Concise English Dictionary, 1985]. Houaiss et al. (2003) traduz “loud” como “alto”, “sonoro”, “ruidoso”, “barulhento”. Usar “altura” para traduzir “loudness” não funcionaria, pois uma nota “alta”, em música, é uma nota aguda, ou seja, está relacionada com a frequência. “Sonoro”, entretanto, é “que produz ou reforça o som”, “que emite som intenso”, “harmonioso, suave, melodioso” [Ferreira, 1999]. Portanto, traduzir “loudness” por “sonoridade” não cabe, pois “sonoridade”, que é “qualidade de sonoro”, “efeito sonoro harmonioso” [Ferreira, 1999], evoca sensações agradáveis, e “loudness” pode servir como métrica para qualquer tipo de som, tanto música quanto o ruído incômodo de uma máquina. O mesmo raciocínio vale para termos como “ruidosidade” ou “barulhidade” — seria estranho falar sobre a “ruidosidade” da voz, já que, em geral, não se refere à voz como um ruído ou um barulho. Houaiss et al. (2003) também traduz “loudness” como “intensidade (de um som)”. A palavra “volume”, em português, pode significar “intensidade (do som ou voz)” [Ferreira, 1999], o que indica que “loudness” poderia ser traduzido por “volume”. Vale dizer que, em inglês, “volume” pode ser “the intensity of a sound” [Longman Concise English Dictionary, 1985]. Caso se considere, porém, que o volume percebido pode mudar mesmo mantendo-se o mesmo nível de intensidade sonora, como no fenômeno da adaptação, então pode-se diferenciar os termos “volume”, que seria o que é efetivamente escutado, no que se refere à percepção da intensidade do som, e “loudness”, a métrica da psicoacústica.

A unidade do *loudness* é o sone. O *loudness* de um tom senoidal de 1 kHz e 40 dB é definido como 1 sone. A relação entre os valores em sones e o volume sonoro percebido é diretamente proporcional, isto é, se um som for percebido como tendo o dobro de volume em relação a outro, o seu valor em sones também será o dobro, diferentemente das medições feitas com as curvas de ponderação.

#### 2.2.1.4 Agudeza

Os sons percebidos como estridentes ou agudos possuem no seu espectro muitos componentes de alta frequência. Para se medir esta sensação, criou-se a agudeza<sup>17</sup>, uma métrica útil em avaliações de timbre. Quanto maior for a proporção de altas frequências no sinal, maior será a sua agudeza. O valor da agudeza pode ser relacionado com a posição do centro de gravidade do envelope espectral do som. O modelo mais aceito para o cálculo da agudeza é o proposto por von Bismarck, que utiliza uma curva de ponderação que dá uma maior importância às frequências mais altas [Lima, 2005].

Em geral, sons com menor agudeza são preferidos [Fastl, 1997] [Champagne e Amman, 1995]. Já Zhang e Vértiz (1997), num trabalho sobre o ruído de janelas elétricas de veículos, concluíram que, para esse caso, a agudeza era um fator secundário na correlação com a agradabilidade do som, e que os fatores mais importantes eram o *loudness*, a intensidade de flutuação e a aspereza. Mas Fastl (1997) afirma que, quando se adiciona mais componentes de baixas frequências no som, reduzindo o valor da agudeza, em muitos casos ele é preferido apesar de se aumentar o valor do *loudness*.

A unidade da agudeza é o acum. A agudeza de um ruído de banda estreita de 1 kHz, cuja largura é a de uma banda crítica e o nível de 60 dB, é definida como 1 acum.

#### 2.2.1.5 Tonalidade

A tonalidade<sup>18</sup> é um descritor do grau em que um som é percebido como tonal. Um som tonal é um som composto por apenas uma componente senoidal. A tonalidade pode ser avaliada pela capacidade que um som tem de provocar a sensação de um tom; pela presença de tons proeminentes; ou pelo grau de similaridade desse som com um tom puro. O som de máquinas que têm peças rotativas costuma ter componentes tonais, o que afeta a qualidade sonora desses equipamentos. Há vários métodos de se calcular a tonalidade, os principais estão descritos abaixo [Hastings et al., 2003].

---

<sup>17</sup>Em inglês, *sharpness*.

<sup>18</sup>Em inglês, *tonality*.

a) Razão tom-ruído<sup>19</sup>. É definido como a razão entre a potência contida no componente tonal e a potência contida na banda crítica centrada nesse componente tonal (mas excluindo a potência do componente tonal). Não são levados em consideração os efeitos de mascaramento vindos de componentes que estejam fora da banda crítica considerada. O tom com maior nível na banda é chamado de tom primário. Para a banda crítica centrada no tom primário, o tom que tiver o segundo maior nível é chamado de tom secundário. Se os tons primário e secundário tiverem a frequência suficientemente próximas, considera-se que eles são percebidos como um único tom e a potência deles é somada. Caso contrário, a potência do tom secundário é subtraída da potência total da banda crítica antes de se calcular a razão tom-ruído do tom primário. Se houver mais que dois tons na banda crítica, este procedimento será repetido para todos os tons. O cálculo da razão tom-ruído está normatizado pela ANSI S1.13 (1995) e pela E DIN 45681 (2002).

b) Razão de Proeminência<sup>20</sup>. É definida como a razão entre a potência contida na banda crítica centrada no tom sob investigação e a média da potência contida nas duas bandas críticas adjacentes. Está normatizada pela ANSI S1.13 (1995).

c) Modelo de tonalidade de Aures. É baseado na avaliação subjetiva de tons puros e de ruídos filtrados em banda. Usa uma função de ponderação para a largura de banda, outra para a frequência central e outra para a proeminência.

### 2.2.1.6 Índice de articulação e Índice de inteligibilidade da fala

Tanto o índice de articulação quanto o índice de inteligibilidade da fala<sup>21</sup> medem o quanto um determinado ruído reduz a inteligibilidade de uma conversa. O índice de articulação considera o nível e a frequência do ruído, e a análise do ruído é feita em terços de oitava, entre 200 e 6300 Hz. Já o índice de inteligibilidade da fala considera tanto o nível e a frequência do ruído quanto o espectro da fala. Divide-se o sinal em bandas que são relevantes para a fala e calcula-se a diferença entre o espectro da fala e o espectro do distúrbio (que é calculado através do espectro do ruído e do espectro de mascaramento da própria fala), pondera-se o resultado por bandas e daí tira-se o índice de inteligibilidade. Esse cálculo está normatizado pela ANSI S3.5 (1997) [HEAD acoustics GmbH, 2004].

---

<sup>19</sup>Em inglês, *tone-to-noise ratio*.

<sup>20</sup>Em inglês, *prominence ratio*.

<sup>21</sup>Em inglês, *articulation index* e *speech intelligibility index*, respectivamente.

## 2.2.2 Avaliações subjetivas

Os testes subjetivos, em qualidade sonora, envolvem o julgamento que os ouvintes fazem dos sons apresentados a eles e a conseqüente análise estatística desse julgamento. Os testes com júri são os testes subjetivos realizados com várias pessoas ao mesmo tempo. Muitos estudos já foram feitos com a finalidade de se correlacionar as métricas psicoacústicas com a reação das pessoas, mas ainda são necessárias mais investigações. Assim, as avaliações subjetivas ainda são muito importantes em qualidade sonora: para se determinar a resposta das pessoas a determinados sons, como elas reagem, e se os apreciam ou não [Shin, Ih, Jeong, 2003]. Dessa forma, apenas a análise do sinal acústico não consegue identificar a sua qualidade, não consegue adjetivar o ruído como o fazem as pessoas, por isso o teste subjetivo é essencial [Otto et al., 2001].

Há várias questões a serem analisadas em um problema de qualidade sonora em que será necessário conduzir uma avaliação subjetiva. Deve-se ter em mente o objetivo geral do projeto, se é, por exemplo, melhorar um produto, documentar as suas características ou saber qual, dentre vários, os consumidores preferem. Diante disso, determinam-se os objetivos da avaliação, quais as questões devem ser respondidas por ela e, com isso, podem-se escolher as técnicas mais adequadas a usar [Civille, Seltsam, 2003].

O artigo de Otto et al. (2001) é um guia para as avaliações subjetivas de ruídos de automóveis. Eles destacam algumas das principais questões para esse tipo de teste: o ambiente de escuta, os sujeitos de teste, a preparação das amostras, a preparação do teste, os métodos de avaliação, os métodos de análise, a correlação entre os resultados objetivos e os subjetivos.

### 2.2.2.1 Ambiente de escuta

A primeira preocupação deve ser quanto ao ambiente de escuta. Se os sons forem apresentados por meio de alto-falantes em uma sala que não seja uma câmara anecóica, o som será influenciado pela acústica da sala. Além disso, se os testes forem feitos por vários sujeitos ao mesmo tempo, eles não ouvirão exatamente o mesmo som por estarem localizados em pontos diferentes da sala. O uso de fones de ouvido evita esses problemas [Otto et al., 2001]. Entretanto, caso se deseje avaliar sons que contenham frequências muito baixas, os fones de ouvido não são suficientes, já que não se percebem essas frequências apenas pelos ouvidos, mas também pelo corpo. Deve-se então estudar o uso de um *subwoofer* [Bodden, 1997].

O ruído do ambiente deve ser controlado, e ele pode vir de várias fontes: computadores, condicionadores de ar, lâmpadas fluorescentes, etc. O uso de lâmpadas incandescentes e uma localização mais afastada dos computadores, além de envolvê-los com encapsulamentos acústicos, ajudam a minimizar o problema. Deve-se tomar cuidado para que um sujeito não influencie o outro, e uma forma de se evitar isso é utilizar partições entre eles. A decoração deve ser o mais natural possível, deve-se ter cadeiras e fones de ouvidos (se for o caso) confortáveis, iluminação moderada, controlar os odores, etc., de forma a não provocar distrações no sujeito. A temperatura da sala deve estar entre 20 e 24 °C, e a umidade relativa do ar entre 45 e 55% [Otto et al., 2001]. Heinrichs e Bodden (1999) destacam que todos os parâmetros não acústicos devem ser mantidos constantes para todos os sujeitos.

#### 2.2.2.2 Sujeitos de teste

A escolha, a quantidade e onde serão encontrados os sujeitos é essencial para os testes subjetivos. Devem-se levar em conta fatores demográficos, além da experiência neste tipo de teste e a relação do sujeito com o artefato que está sendo testado. Se a avaliação for conduzida por uma empresa, é importante que o sujeito seja um consumidor em potencial dos seus produtos, e podem-se usar também os empregados da empresa. Deve-se usar um conjunto de sujeitos que representem os mais diversos segmentos da população, como idade, sexo, posição econômica, etc. [Otto et al., 2001].

Já a dificuldade do teste e o treinamento necessário irão determinar o número de sujeitos a serem utilizados. Um importante ponto é definir quantos darão um resultado estatisticamente representativo, ou seja, para um teste com  $N$  sujeitos, o resultado deveria ser o mesmo se feito com  $2N$  ou  $10N$  sujeitos. Otto et al. (2001) afirmam que, baseados nas suas experiências, podem-se usar de 25 a 50 sujeitos se eles forem empregados da empresa, sendo que 10% dos resultados serão desconsiderados por desempenho insuficiente<sup>22</sup>. Caso se utilize consumidores, será necessário entre 75 e 100 participantes, sendo que eles apresentam um nível de variabilidade maior nas suas respostas, além de haver um não comparecimento ao teste de cerca de 20%. Em geral, um maior número de participantes é melhor, mas aí existe a limitação do tempo. Para testes mais complexos, necessita-se treinar mais os sujeitos, o que limita o seu número muitas vezes a menos de 10, aumentando também a variabilidade dos resultados.

---

<sup>22</sup>Desempenho, aqui, não significa incapacidade de um sujeito de avaliar os sons, mas sim que, naquela avaliação específica, as suas respostas não foram coerentes.

O nível de treinamento dos sujeitos vai depender da complexidade do teste. Para tarefas simples, como escolher o som preferido entre dois ou classificar certos atributos sonoros, apenas uma familiarização é recomendada. Para tarefas complexas, como a estimativa de magnitude, é necessário mais treinamento. Quanto mais um sujeito for exposto à tarefa melhor será o seu desempenho [Otto et al., 2001].

### 2.2.2.3 Preparação das amostras

É importante se ter certeza de que as amostras realmente representem toda a população dos produtos. Durante os testes subjetivos, deseja-se que o sujeito ouça o som original como se estivesse diante da fonte que o produziu, como um liquidificador, por exemplo, ou mesmo como se estivesse num teatro ouvindo a apresentação de uma orquestra. Para isso, costuma-se usar a gravação bi-auricular, empregando-se geralmente uma cabeça e torso artificiais. As gravações digitais são o meio mais utilizado em qualidade sonora, pela alta faixa dinâmica e pelo baixo custo de armazenamento dos dados. Certos cuidados devem ser tomados, como fazer todas as gravações usando a mesma sensibilidade e equalização, o que evitará o uso de compensações por *software* ou *hardware* na hora da reprodução [Otto et al., 2001].

A amostra de som a ser utilizada nos testes com júri deve ter de 3 a 5 segundos de duração. Se ela for de um evento transiente, deve-se repeti-la várias vezes. Quando não se deseja avaliar o *loudness*, deve-se torná-lo igual em todas as amostras de forma que os sujeitos foquem em outras características sonoras [Otto et al., 2001].

### 2.2.2.4 Preparação dos testes

É importante escolher a forma que os sons serão apresentados aos sujeitos. Por exemplo, para testes que usam comparação pareada, normalmente  $t(t - 1)$  pares são apresentados, onde  $t$  é o número de sons do estudo. Cada par é apresentado duas vezes, porém inverte-se a ordem de apresentação na segunda vez, o que elimina alguma possível tendência dada pela disposição dos sons. Pode-se também dar liberdade para os sujeitos ouvirem as amostras quantas vezes quiserem. Fatores como o tamanho de cada amostra e o tempo total do teste devem ser considerados. Testes com longa duração podem causar fadiga, por isso devem durar de 30 a 45 minutos. Um estímulo visual que lembre o produto que está sendo avaliado também é recomendado, pode-se usar vídeo ou fotos [Otto et al., 2001].

### 2.2.2.5 Escalas

As escalas são necessárias para se medir a percepção dos sujeitos a determinado atributo da amostra. Três tipos de escalas são apresentadas a seguir.

a) Escalas limitadas. Os sujeitos devem atribuir um valor numérico ao atributo da amostra que estão avaliando, utilizando uma escala em que o valor mínimo e o máximo já estão fixados. Têm a desvantagem de os sujeitos não saberem ao certo que número associar à sua impressão, e de que pessoas diferentes usam a escala de forma diferente, isto é, para uma escala variando de 0 a 9, um sujeito pode usar valores de 3,0 a 7,0, enquanto que outro, de 6,5 a 8,5. Outro problema é que os extremos da escala comumente não são usados, o que pode levar a distorções como, num teste em que se pede para avaliar a similaridade entre dois sons, o sujeito não usar o valor máximo para sons iguais. Também raramente há proporcionalidade entre os resultados subjetivos e objetivos, o que dificulta a correlação entre eles [Otto et al., 2001]. Para se usar esse tipo de escala, deve-se antes apresentar todos os sons aos sujeitos, para que eles tenham uma idéia da faixa de variação do atributo do som que irão avaliar, e também instruí-los a usar toda a faixa disponível da escala [Guski, 1997].

Também podem-se usar palavras, ao invés de números. Como exemplo, tem-se o seguinte grupo de palavras: {nada, no limiar, muito fraco, fraco, de fraco a moderado, moderado, de moderado a forte, forte}<sup>23</sup>. Caso se queira atribuir a cada palavra do conjunto um número, por exemplo, zero para “nada”, um para “no limiar”, dois para “muito fraco” e assim por diante, para uma posterior análise numérica, é importante observar que as expressões empregadas precisam ter distâncias iguais entre elas, isto é, se de zero para um e de um para dois temos a diferença de uma unidade, então as palavras empregadas devem garantir que de “nada” para “no limiar” e de “no limiar” para “muito fraco” se tenha a diferença de uma unidade. Guski (1997) também sugere que, não havendo estudos no idioma do teste sobre as escalas com palavras, é melhor se utilizar uma escala numerada em que, para cada número, se associe a expressão correspondente.

b) Por linhas (também chamada de escala de Stone). Dá-se aos sujeitos um papel com o desenho de uma linha reta não numerada, como mostrado na Figura 2.12. Em uma extremidade está escrito “muito barulhento” e, na outra, “muito quieto”. Os sujeitos são instruídos a marcar na linha o ponto correspondente à sua impressão quando lhes for apresentado um som. Posteriormente coloca-se uma escala sobre a linha a fim de se

---

<sup>23</sup>Exemplo retirado e traduzido de Civile e Seltsam (2003). No original, tem-se: {none, threshold, very slight, slight, slight-moderate, moderate, moderate-strong, strong}.

converter estes pontos em números. Outros pares de expressões podem ser usados, como “gosto extremamente” e “detesto extremamente”.

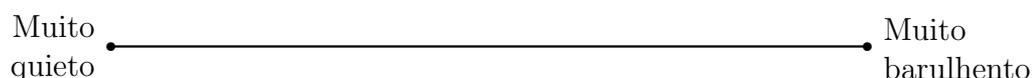


Figura 2.12: Exemplo de uma escala por linha.

c) Estimativa de magnitude<sup>24</sup>. Os sujeitos devem atribuir um valor numérico ao atributo da amostra que estão avaliando, sem, contudo, que lhes seja dada uma escala com limites. A desvantagem é que os sujeitos tendem a usar valores muito diferentes um do outro, o que torna esse método mais difícil de ser aplicado. Exige, portanto, mais treinamento e uma maior experiência dos sujeitos. Pode-se também, por exemplo, apresentar uma amostra como referência e atribuir-lhe um valor para a característica que se quer avaliar, de modo que todos os sujeitos tenham a mesma base de apoio [Otto et al., 2001]. Outra saída é apresentar uma amostra que servirá como referência, mas pedir ao próprio sujeito que lhe atribua um valor. O sujeito é orientado a avaliar as outras amostras proporcionalmente à referência, isto é, se a próxima amostra de som aparentar ser três vezes mais barulhenta que a referência, por exemplo, então o valor dado a esta amostra para a característica “barulhento” deverá ser três vezes maior que o da referência [Civille, Seltsam, 2003]. Guski (1997) ressalta que não se tem certeza se os sujeitos realmente associam os números às suas percepções ou se eles podem ser influenciados, ao menos temporariamente, pelo significado semântico dos números, por exemplo, um sujeito associar o número cem ao máximo possível de determinado estímulo, por causa da escala de porcentagens.

#### 2.2.2.6 Métodos de avaliação pelo júri

a) Testes de diferença. Usados para determinar se existem diferenças entre as amostras. Alguns deles estão descritos a seguir.

- Teste do triângulo. É dito aos sujeitos que, dentre as três amostras, duas são iguais. Eles devem, então, examinando as amostras numa determinada ordem, dizer qual delas é diferente das outras.
- Teste duo-trio. Apresentam-se para cada sujeito uma referência e outras duas amostras, uma das quais é igual à referência. Os sujeitos devem identificar qual delas é

<sup>24</sup>Em inglês, *magnitude estimation*.

igual à referência.

- Teste do igual/diferente. Apresentam-se duas amostras e pede-se ao sujeito que diga se elas são iguais ou diferentes. Em metade dos casos apresentam-se dois sons iguais e, na outra metade, dois diferentes.
- Diferença do padrão. Este teste é usado para determinar tanto se existe uma diferença entre duas amostras, quanto para estimar o tamanho dessa diferença. Apresentam-se para os sujeitos uma amostra padrão, usada como referência, e uma outra amostra. Os sujeitos deverão quantificar, de acordo com uma escala, a diferença entre elas.

b) Ordenamento<sup>25</sup>. Nesse método, é pedido a cada sujeito que faça o ordenamento de  $N$  sons de acordo com algum critério, como preferência, desagradabilidade, etc. Aos sujeitos é dada a possibilidade de ouvirem os sons quantas vezes quiserem. Como desvantagens, podem-se citar que a dificuldade do método aumenta à medida que o número de sons aumenta, e que o método não fornece informações de magnitude, ou seja, com ele pode-se concluir que o som A é mais agradável que B, mas não o quanto é. Por isso, esse método é usado apenas em avaliações e comparações simples [Otto et al., 2001].

c) Comparação pareada<sup>26</sup>. É o método em que dois sons são apresentados e os sujeitos devem fazer algum julgamento relativo entre eles. Por exemplo, pode-se pedir aos sujeitos que escolham no par o som que acham mais agradável. Pode-se também, a fim de se obter informações de magnitude, pedir para que digam o quanto preferem tal som, através de uma escala numerada. Em outro tipo de tarefa é pedido aos sujeitos que quantifiquem a similaridade entre os sons. Utiliza-se a escala por linhas, escrevendo-se, nas extremidades, “muito diferente” ou “muito similar”. Em outro tipo de tarefa, compõe-se o par de um som A, mascarador, e de um A+B, onde B é o sinal mascarado. Variando-se a intensidade de B e pedindo ao sujeito que escolha no par qual deles contém B, pode-se chegar ao limiar de mascaramento [Otto et al., 2001].

d) Diferencial semântico<sup>27</sup>. Nesta técnica usam-se pares de adjetivos antônimos e advérbios adequados que permitam gradações entre eles. Dessa forma, o sujeito poderá escolher, na comparação entre dois sons, entre quieto e barulhento, mas deverá dizer se é “extremamente quieto”, “muito quieto”, “um pouco quieto”, ou então dizer se é “extre-

---

<sup>25</sup>Em inglês, *rank order*.

<sup>26</sup>Em inglês, *paired comparison*.

<sup>27</sup>Em inglês, *semantic differential*.

mamente barulhento” e assim por diante. Um exemplo de um possível questionário<sup>28</sup> está mostrado na Figura 2.13.

O treinamento deve ser conduzido de forma que todos os sujeitos entendam os termos usados da mesma forma e os utilizem da mesma maneira. Pessoas diferentes podem entender o significado de cada palavra de forma diferente [Civille, Seltsam, 2003].

	Extremamente	Muito	Um pouco	Nenhum	Um pouco	Muito	Extremamente	
quieto								barulhento
macio								áspero
oscilante								constante
agradável								desagradável

Figura 2.13: Exemplo de um possível questionário de diferencial semântico.

### 2.2.2.7 Métodos de análise

Otto et al. (2001) citam alguns métodos estatísticos comumente utilizados em qualidade sonora para análise dos dados. Além da estatística descritiva (a análise da distribuição, o cálculo da média, mediana, moda, além de medidas de variabilidade, como a variância), há diversas técnicas que podem ser usadas, dependendo da análise que se quer fazer, como o teste-t, o ANOVA (*analysis of variance*) e o método de Fisher da mínima diferença significativa. Na técnica em que se utilizam gráficos, dois conjuntos de dados (subjetivos x subjetivos ou subjetivos x objetivos) são graficados para se investigar as relações entre os dados. Esse procedimento pode revelar informações que não seriam evidentes em uma análise numérica.

A regressão linear é usada para avaliar as relações entre uma variável que dependa de outras, e também para explorar relações entre respostas subjetivas. Otto et al. (2001) afirmam que os coeficientes da equação de regressão podem ser usados para quantificar a importância relativa de cada aspecto do som na preferência por ele. Entretanto, Howell (1992) afirma que esta questão não é tão trivial, com exceção dos casos em que os regressores não tenham dependência nenhuma entre si. Mais explicações sobre a regressão

<sup>28</sup>Este exemplo foi montado com base em [Otto et al., 2001], [Lima, 2005] e [Zhang, Vértiz, 1997]. Entretanto, não há estudos para a construção de um diferencial semântico em português para a avaliação de ruídos. Sabe-se que a simples tradução dos termos, de uma língua para outra, como foi feito neste exemplo, não é um procedimento adequado [Paul, 2005].

linear serão dadas na Seção 3.9.3.

Os métodos estatísticos chamados de paramétricos, para serem aplicados, exigem que se façam suposições acerca da distribuição de escores da população da qual se tirou a amostra. Em geral, supõe-se que esses escores obedeçam à curva normal. O teste-t e o ANOVA são exemplos clássicos desse tipo de teste. Já nos testes não-paramétricos<sup>29</sup> essas suposições não são necessárias. Isso faz com que eles se tornem mais adaptáveis às ciências do comportamento [Siegel, 1975]. Souza (1996) ressalta que a “hipótese da normalidade, descoberta dos astrônomos e físicos, era adequada aos dados das ciências experimentais, (...) cujos experimentos eram controlados pelo pesquisador.” Entretanto, “(...), o conceito de erro distribuído normalmente não é respaldado pela natureza das observações das variáveis psicossociais obtidas, desde logo, mediante instrumentos de mensuração mais precários de que os das ciências experimentais.”<sup>30</sup> Portanto, ao se lidar com o subjetivismo, muitas vezes, é necessário empregar tratamentos estatísticos diferenciados.

Um dos métodos não-paramétricos é a prova de Friedman [Siegel, 1975] [Montgomery e Runger, 2003] [Howell, 1992]. Este método será aplicado na análise da primeira e da segunda avaliação subjetiva (Seções 3.7, página 64, e 4.3, página 95, respectivamente). Os dados são colocados em uma tabela com  $N$  linhas, que representam os indivíduos ou grupos de indivíduos, e  $k$  colunas, que representam as condições. Então, atribuem-se postos aos  $k$  valores de cada linha. Ou seja, atribui-se o posto  $k$  ao maior valor daquela linha, o posto  $k - 1$  ao segundo maior valor, e assim por diante. Os postos também podem ser atribuídos de forma ascendente, de 1 a  $k$ . Se a hipótese nula<sup>31</sup> for verdadeira, “então a distribuição de postos em cada coluna será aleatória”<sup>32</sup>. Siegel (1975) exemplifica o método supondo escores correspondentes a três grupos e quatro condições, como mostra a Tabela

---

<sup>29</sup>Em inglês, *nonparametric tests* ou *distribution-free tests*.

<sup>30</sup>In: Souza (1996), p. 162.

<sup>31</sup>Sobre a hipótese nula: “(...), the concept of the null hypothesis plays a crucial role in testing hypotheses. (...), if we hope to demonstrate the research hypothesis that college students do not come from a population with a mean self-confidence score of 100, we immediately set up the null hypothesis that they do. Or, if we hope to demonstrate the validity of a research hypothesis that the means ( $\mu_1$  and  $\mu_2$ ) of the populations from which two samples are drawn are different, we state the null hypothesis that the population means are equal (or, equivalently, that  $\mu_1 - \mu_2 = 0$ ).” In: Howell (1992), p. 84. “Um procedimento levando a uma decisão acerca de uma hipótese particular é chamado de **teste de uma hipótese**. Procedimentos de teste de hipóteses usam informações de uma amostra aleatória proveniente de uma população de interesse. Se essa informação for consistente com a hipótese, então concluiremos que a hipótese é verdadeira; no entanto, se essa informação for inconsistente com a hipótese, concluiremos que a hipótese é falsa. Enfatizamos que a verdade ou a falsidade de uma hipótese particular pode nunca ser conhecida com certeza, a menos que possamos examinar a população inteira. (...) A estrutura de teste de hipóteses será idêntica em todas as aplicações que vamos considerar. A hipótese nula é aquela que desejamos testar. A rejeição da hipótese nula sempre leva à aceitação da hipótese alternativa.” In: Montgomery e Runger (2003), p. 143.

<sup>32</sup>In: Siegel (1975), p. 190.

2.1. Já a Tabela 2.2 mostra os postos atribuídos aos escores de cada linha da Tabela 2.1. “Se os escores dos indivíduos fossem independentes das condições, o conjunto de postos em cada coluna representaria uma amostra aleatória da distribuição retangular descontínua de 1, 2, 3 e 4, e os totais de postos para as diversas colunas seriam aproximadamente iguais. Se os escores dos indivíduos dependessem das condições, (...), então os totais de postos variariam de uma coluna para outra. (...) A prova de Friedman determina se os totais de postos ( $R_j$ ) diferem significativamente.”<sup>33</sup>

Tabela 2.1: Escores de três grupos sob quatro condições [Siegel, 1975].

	Condições			
	I	II	III	IV
Grupo A	9	4	1	7
Grupo B	6	5	2	8
Grupo C	9	1	2	6

Tabela 2.2: Posto de cada condição para cada um dos grupos da Tabela 2.1 [Siegel, 1975].

	Condições			
	I	II	III	IV
Grupo A	4	2	1	3
Grupo B	3	2	1	4
Grupo C	4	1	2	3
$R_j$	11	5	4	10

Para se aplicar a prova de Friedman, após se ter atribuído postos a cada linha, computa-se a Equação (2.9) [Howell (1992)][Siegel (1975)]. O resultado  $\chi_F^2$  é avaliado de acordo com a distribuição  $\chi^2$  com  $k - 1$  graus de liberdade. Assim, para um dado nível de significância<sup>34</sup>  $\alpha$ , rejeita-se a hipótese nula  $H_0$  se  $\chi_F^2 > \chi_\alpha^2$ , com  $k - 1$  graus de liberdade.

$$\chi_F^2 = \frac{12}{Nk(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 - 3N(k+1) \tag{2.9}$$

onde:

$R_j$  é a soma dos postos na coluna  $j$ ;

$N$  é o número de sujeitos;

<sup>33</sup>In: Siegel (1975), p. 190-191.

<sup>34</sup>O nível de significância  $\alpha$  é a probabilidade de se rejeitar  $H_0$  (a hipótese nula) quando  $H_0$  for verdadeira.

$k$  é o número de colunas.

Para esclarecimento ou aprofundamento dos conceitos e métodos estatísticos, sugere-se consultar: Siegel (1975), Montgomery e Runger (2003) ou Howell (1992).

### 2.2.2.8 Correlação entre os dados subjetivos e objetivos

Os testes subjetivos envolvem gasto de tempo e necessidade de se convocar e lidar com os sujeitos, por isso procura-se sempre correlacionar os resultados obtidos com algumas métricas psicoacústicas do som, de forma a se poder substituir os testes por cálculos matemáticos.

Como técnica de correlação, podem-se usar os diagramas de dispersão quando existir uma forte relação entre uma única métrica psicoacústica e as respostas subjetivas, graficando-se a métrica no eixo das coordenadas e as respostas subjetivas no das ordenadas. Na regressão linear, usa-se o método dos mínimos quadrados para se determinar os coeficientes de uma reta que exprimam a correlação. Quando se tem mais de uma variável objetiva, faz-se uma combinação linear. A regressão pode também ser não-linear, o que, no entanto, torna os cálculos mais complicados. Outro método, o das redes neurais, que é ainda pouco utilizado em qualidade sonora automotiva [Otto et al., 2001], oferece grande potencial em reconhecimento de padrões. Otto et al. (2001) advertem também para que se tenha sempre desconfiança dos resultados da correlação, mesmo que eles tenham sido muito bons. Deve-se lembrar que pequenas quantidades de dados podem levar a erros, já que, por serem poucos, eles se tornam mais fáceis de se correlacionarem.

### 2.2.3 Aplicações na indústria automobilística

A qualidade sonora tem sido usada na indústria automobilística desde 1980 [Ebbitt]. Ela tornou-se necessária quando se percebeu que as curvas de ponderação, utilizadas para se medir a pressão sonora, não eram suficientes para a caracterização do som. Alguns veículos eram considerados acusticamente melhores e até mesmo menos barulhentos que outros, mesmo tendo um maior nível de pressão sonora. O crescimento da importância da qualidade sonora pode ser observada, ao longo dos anos, através das publicações de uma conferência bienal, a Noise and Vibration Conference, organizada pela Society of Automotive Engineers (SAE). Se em 1985 apenas uma publicação abordava o assunto, já em 2001 eram trinta e uma. A maior parte delas trata sobre metodologia e o ruído

do trem de força (*powertrain noise*), havendo ainda muitas publicações sobre motores a *diesel*, ruído de transmissões e engrenagens, sistema de exaustão e fechamento de portas, entre outros.

No Brasil, alguns trabalhos em qualidade sonora também estão sendo publicados nos congressos nacionais da SAE. Dentre eles, o de Nunes, Piva e Padilha (2000) compara veículos utilizando o *loudness* e a aspereza. A seguir descrevem-se alguns exemplos de utilização da qualidade sonora na indústria automobilística: investigações sobre o fechamento de portas; o desenvolvimento de uma métrica objetiva específica para determinado problema; a procura por um “som esportivo” para um modelo de automóvel; e um caso em que houve a necessidade de se utilizar processamento sonoro.

### 2.2.3.1 Desenvolvimento de um modelo esportivo

Nunes, Lima e Piva (1999) descrevem o desenvolvimento da sonoridade de um carro esporte. Era necessário aumentar as baixas frequências do ruído durante a aceleração, para transmitir uma sensação de potência. Ao mesmo tempo, o carro precisava ser silencioso a velocidades constantes e em descidas de encostas. Os primeiros testes mostraram que o carro era silencioso, mas soava familiar demais, enquanto que o carro de uma marca concorrente possuía as características sonoras desejadas, embora não fosse tão confortável a velocidades constantes. O protótipo foi concebido com menores razões de transmissão das engrenagens e redução do *loudness* do sistema de purificação do ar, o que permitiu incrementar a segunda e a quarta ordem do ruído. Entretanto, ordens superiores também tiveram seus níveis aumentados, porém dentro do aceitável. Ao final, os autores destacam que os objetivos foram alcançados.

### 2.2.3.2 Janelas elétricas de carros

Zhang e Vértiz (1997) descrevem o estudo da qualidade sonora de janelas elétricas de carros. As amostras de som foram avaliadas pelo júri pelo método do diferencial semântico. Foi gravado, em câmara anecóica e através do sistema bi-auricular, o som de dez janelas de automóveis existentes no mercado, além do de outras duas que foram selecionadas de produtos rejeitados por barulho excessivo, para dois casos: janela abrindo e janela fechando. Quarenta e oito sujeitos considerados com audição normal foram selecionados para formarem o júri.

Um questionário foi entregue aos sujeitos, contendo tanto uma escala de diferencial

semântico, mostrada na Figura 2.14, quanto um espaço aberto a comentários. O questionário continha oito pares de adjetivos comumente usados em qualidade sonora (os oito primeiros da figura) e dois pares que representavam o gosto do consumidor por aquele som (os dois últimos)<sup>35</sup>.

	1	2	3	4	5	6	7	
quiet								loud
gentle								violent
variable pitch								steady
soft								hard
weak								strong
smooth								rough
dull								sharp
oscillating								constant
pleasant								unpleasant
like								dislike

Figura 2.14: Diferencial semântico usado por Zhang e Vértiz (1997), num estudo da qualidade sonora de janelas elétricas de carros.

Duas amostras de som, uma de janela abrindo e outra de janela fechando, foram escolhidas para servirem como referência, e os sujeitos as avaliavam primeiro. As outras amostras foram avaliadas com base nas referências. Além disso, outras duas amostras foram escolhidas para serem avaliadas duas vezes, sem que os sujeitos soubessem, e, dessa forma, pôde-se checar a credibilidade das avaliações, que ficou dentro do aceitável.

A etapa seguinte foi a análise estatística. A correlação entre os escores dos oito primeiros pares de adjetivos e os dois últimos pares demonstra que os adjetivos relacionados à intensidade do som são mais importantes na preferência do consumidor.

Calcularam-se então algumas métricas psicoacústicas: intensidade sonora, *loudness*, aspereza, intensidade de flutuação e agudeza. Em geral, os sons com pior avaliação pelos consumidores tiveram maiores níveis de intensidade sonora, *loudness*, aspereza e intensidade de flutuação.

A correlação entre os resultados objetivos e subjetivos foi feita pelo método da regressão, usando-se a avaliação de preferência dos consumidores como variável dependente e as variáveis psicoacústicas como independentes. A intensidade foi o fator que melhor se correlacionou, enquanto que a agudeza e a variação tonal tiveram contribuições secundárias.

<sup>35</sup>Uma tradução aproximada para os pares de termos empregados é: *quiet/loud*: quieto/barulhento; *gentle/violent*: suave/violento; *variable pitch/steady*: altura variável/altura constante; *soft/hard*: leve/pesado; *weak/strong*: fraco/forte; *smooth/rough*: macio/áspero; *dull/sharp*: abafado/agudo; *oscillating/constant*: oscilante/constante; *pleasant/unpleasant*: agradável/desagradável; *like/dislike*: eu gosto/eu não gosto.

### 2.2.3.3 Processamento sonoro

Em alguns casos, é necessário processar o sinal sonoro para utilizá-lo nas avaliações subjetivas. Ohsasa e Kadomatsu (1995) descrevem um estudo sobre a qualidade sonora do sistema de exaustão automotivo durante a aceleração. Os fatores analisados foram a percepção da potência (*powerful feeling*), da flutuação (*buoyant feeling*) e da aceleração (*accelerating feeling*), os quais, segundo os autores, são os três principais fatores de qualidade sonora para carros esportivos. Foi gravado o ruído do sistema de exaustão de três carros, um para cada fator, e usou-se de processamento de sinais para modificá-los. Os sujeitos foram orientados a estimar a velocidade do motor através do som que lhes era apresentado e, a partir dessas estimativas, calculou-se a aceleração. Não se poderia gravar vários veículos para compará-los, pois diferenças nas taxas de aceleração poderiam influenciar nas respostas subjetivas dos sujeitos. Por isso, cada uma das três gravações só foi comparada aos sinais processados que se originaram dela.

### 2.2.3.4 Estudo de sons impulsivos

Champagne e Amman (1995) investigaram a qualidade sonora de carros de passageiros e pequenos caminhões. Foram estudados os sons produzidos por diversos tipos de portas: as laterais, o capô, o porta-malas, entre outras. As gravações binaurais foram feitas com uma cabeça artificial localizada no assento do motorista ou, para as gravações feitas no exterior no veículo, onde um usuário típico estaria ao realizar a ação de abrir ou fechar a porta.

Quinze condições foram gravadas: fechamento do capô, gravada do lado de fora; abertura do capô, gravada do lado de dentro; fechamento e abertura do porta-malas, gravadas do lado de fora, etc. Para cada uma delas, avaliações da preferência por comparação pareada foram feitas, e todos os pares foram apresentados duas vezes. A repetibilidade e a consistência dos sujeitos foi avaliada. Já que cada par é apresentado duas vezes, a repetibilidade é definida como a porcentagem de pares cujas avaliações são idênticas. Para avaliar a consistência, necessita-se de três sons. Por exemplo, se entre dois sons, A e B, A é preferido, e entre B e C, B é preferido, então, entre A e C, A deve ser preferido. As avaliações feitas por sujeitos com baixa repetibilidade e consistência foram removidas da análise.

Foi calculado o *loudness* de cada amostra de som. Para muitos casos, como o de abertura de portas deslizantes, os resultados demonstram que, quanto maior o *loudness*,

menor é a preferência pelo som. Entretanto, o *loudness* só tem bons resultados na correlação quando os sons são semelhantes em outras características. Quando alguns sons têm múltiplos impactos e outros não, por exemplo, a correlação entre a preferência e o *loudness* diminui.

Outras medidas objetivas foram calculadas: o tempo de decaimento, múltiplos impactos e agudeza. O tempo de decaimento foi medido pois havia sons que continuavam soando após o impacto inicial, e a preferência por eles era menor, assim como os sons com múltiplos impactos e maior valor de agudeza.

Hamilton (1999) cita quatro atributos que considera essenciais para a análise de sons impulsivos:

- o tempo do impacto inicial, com alta amplitude e ampla faixa de frequências;
- o som ressonante de baixa frequência<sup>36</sup> que perdura após o impacto inicial, normalmente dominado por apenas uma frequência;
- a amplitude máxima;
- e os componentes de alta frequência.

A Figura 2.15 esquematiza um som impulsivo com cada um dos quatro atributos.

### 2.2.3.5 Nova métrica para um caso específico

Em alguns casos as métricas psicoacústicas existentes não se correlacionam bem com os resultados das avaliações subjetivas. A busca por novas métricas torna-se, então, necessária, e muitas vezes elas se aplicam apenas a casos específicos. Como exemplo pode-se citar um estudo de Heinrichs e Bodden (1999). Eles acreditam que, nos trabalhos anteriores que tratam do *rattle*<sup>37</sup> em engrenagens, as métricas que foram testadas, como a aspereza, parecem falhar porque não refletem as condições reais de direção. Por isso, desenvolveram uma métrica própria para a avaliação do problema. A condição real de direção é a de um engarrafamento, em que os carros andam pequenos trechos e param, e os motoristas não precisam se concentrar muito na direção. Dessa forma, segundo os autores, prestam mais atenção nos ruídos do carro. Como, nessa situação, o motorista

---

<sup>36</sup>Hamilton (1999) chama este som de *low frequency 'toe'*, que, numa tradução literal, é 'ponta do pé' de baixa frequência. Já Champagne e Ammam (1995) denominam este som de *ringing*.

<sup>37</sup>Uma possível tradução para este termo é "matraqueamento".

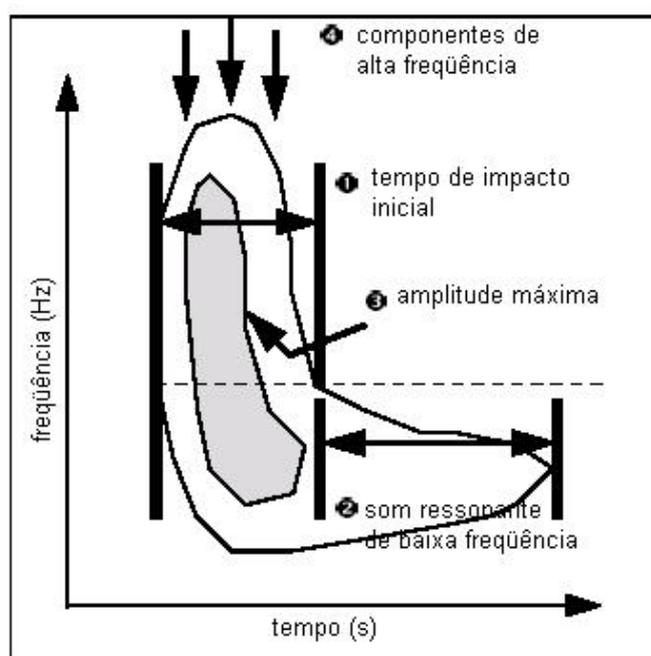


Figura 2.15: Representação de um som impulsivo e suas quatro características, segundo Hamilton (1999). A intensidade é representada pelas linhas de contorno.

tem que pressionar e soltar o pedal de embreagem continuamente, o *rattle* da engrenagem aparece e desaparece sincronizado com o soltar e pressionar a embreagem. A amostra sonora usada por Heirichs e Bodden consiste de dois segmentos: no primeiro o carro anda uma distância  $d_1$  a uma velocidade constante e sem que o motorista pressione o pedal de aceleração, e no segundo, pressionando-se a embreagem, o carro desacelera e cobre uma distância  $d_2$  praticamente na mesma velocidade de antes. Os segmentos são denominados, respectivamente, de  $p_1(t)$  e  $p_2(t)$ . Para se chegar a uma métrica ajustável à percepção humana, primeiramente calcula-se a transformada de Fourier para ambos os segmentos e, em seguida, tira-se o logaritmo. Subtrai-se então o resultado do primeiro segmento pelo do segundo, e esta diferença é chamada de DLS (*Difference Log. absolute Spectrum*). O DLS fornece a informação sobre a energia do ruído de *rattle* e suas frequências características, e através de uma média na frequência do DLS chega-se a um índice que prevê a classificação subjetiva do *rattle*.

### 2.3 Exemplos de estudos da qualidade do ruído de sistemas de CAVA

Poucos estudos se encontram na literatura sobre a qualidade e adequação dos ruídos dos sistemas de CAVA. Roussarie et al. (2005) estudaram a influência desses ruídos no

conforto térmico. Eles queriam saber se existem sons específicos que são mais ou menos adequados para um sistema de CAVA e se o ruído desse sistema pode influenciar no conforto térmico. Assim, dividiram a pesquisa em três etapas: na primeira, os sujeitos deveriam avaliar o conforto térmico de diferentes estímulos térmicos, num ambiente isolado acusticamente; na segunda, os sujeitos deveriam selecionar os sons mais e menos adequados para diferentes estímulos térmicos; e na terceira eles voltariam a avaliar o conforto térmico de diferentes estímulos térmicos, mas desta vez ouvindo os sons selecionados.

Os experimentos foram conduzidos no verão e utilizou-se apenas a condição de resfriamento de ar (não se utilizou aquecimento). A temperatura da cabine era mantida constante, enquanto que uma unidade de ar-condicionado provia o estímulo térmico através de fluxos de ar, na direção da cabeça e do peito do sujeito. Cada estímulo térmico durava 30 segundos, e esperava-se 5 minutos fora da cabine antes do próximo estímulo.

Os sons utilizados no estudo foram sintetizados a partir do ruído branco, com base em gravações de sistemas de CAVA tanto de automóveis quanto de residências. Por razões de confidencialidade, os autores do estudo não podem divulgar as características desses sons.

Os resultados da primeira etapa demonstram que o estímulo térmico teve um efeito significativo no conforto percebido. Também foram significativas as diferenças entre um sujeito e outro. Eles puderam ser divididos em dois grupos, de acordo com o seu padrão de resposta. O turno em que foi feito o teste (matutino ou vespertino) também influenciou as respostas.

Os resultados da segunda etapa mostram que alguns sons são considerados mais adequados para determinados estímulos térmicos, tendo sido escolhidos por uma quantidade significativa de sujeitos. Da mesma forma, alguns sons são considerados menos adequados.

A terceira etapa tem os resultados mais interessantes: eles indicam que, para 67,5% das pessoas, o tipo de ruído pode modificar a percepção de conforto térmico. Assim, em projetos de sistemas de CAVA, principalmente os utilizados em domicílios e automóveis, também deve ser considerada a dimensão acústica quando se deseja melhorar o conforto térmico.

Já Kim et al. (2005) tanto identificaram as fontes de ruído de um sistema de CAVA quanto fizeram uma investigação de qualidade sonora, realizando testes subjetivos e correlacionando-os com métricas psicoacústicas. Para a identificação das fontes, mediram a vibração da estrutura e a intensidade sonora, mas não o fizeram dentro de um veículo — o sistema de CAVA foi montado em uma bancada. Chegou-se ao resultado de

que o ruído produzido pelo ventilador alcança de 60 a 80% do ruído total. As gravações para a etapa de qualidade sonora foram feitas com o microfone na posição dos ouvidos do motorista do veículo<sup>38</sup>. O cálculo das métricas psicoacústicas demonstrou que, quando se aumentava a velocidade de ventilação, também aumentava o *loudness* e a aspereza, enquanto que a agudeza diminuía. Na avaliação subjetiva utilizou-se um diferencial semântico. Concluíram que, quanto mais baixa é a velocidade de ventilação, maior é a preferência pelo som.

---

<sup>38</sup>Os autores não dizem quantos microfones foram usados, se a gravação era bi-auricular, e nem mesmo fica claro se foi gravado o sistema montado na bancada ou se a gravação foi feita dentro de um veículo.



### *3 Primeira etapa: avaliação subjetiva de similaridade*

Neste capítulo, mostra-se como os parâmetros objetivos mais importantes na percepção do ruído sistema de CAVA foram determinados. Para isso, foram feitas diversas gravações em um mesmo modelo de automóvel. Depois de editadas e das análises iniciais, essas gravações foram utilizadas em uma avaliação subjetiva de similaridade. De posse dos resultados objetivos e dos subjetivos, investigou-se a correlação entre eles, tanto analisando-se gráficos quanto os comentários dos sujeitos e aplicando-se a regressão linear múltipla.

Na Seção 3.1, fala-se do sistema de CAVA do modelo de automóvel utilizado neste trabalho. A seguir, explica-se como foram feitas as gravações. A edição dos sons e o cálculo das métricas psicoacústicas é explicado na Seção 3.2, e a Seção 3.3 trata das análises iniciais.

A avaliação subjetiva de similaridade está detalhada na Seção 3.4. Ali, são explicados os critérios para a seleção dos sons, a preparação da avaliação, os procedimentos utilizados, o questionário. Foi escolhido o método da comparação pareada, com a utilização de uma escala por linhas.

A apresentação dos resultados é feita na Seção 3.5. Algumas análises são feitas da Seção 3.6 à 3.8: sobre os pares que se repetem na comparação pareada e a aplicação da prova estatística de Friedman.

A Seção 3.9 trata da correlação entre os dados subjetivos e as métricas psicoacústicas. A investigação é feita por gráficos, pelos comentários dos sujeitos e pela regressão linear múltipla. Finalmente, as conclusões são apresentadas na Seção 3.10.

### 3.1 Metodologia das gravações

Na primeira etapa da pesquisa, foi gravado o ruído do sistema de CAVA de quinze carros recém fabricados, ainda no pátio da montadora, e todos do mesmo modelo. Os dados de cada carro encontram-se na Tabela 3.1. O sistema de CAVA desse modelo tem quatro velocidades de ventilação; pode ou não ter ar-condicionado; também pode ter ou não aquecimento. Portanto, divide-se em três diferentes tipos:

- *Ar-condicionado*: Com ar-condicionado e aquecimento, painel conforme a Figura 3.1;
- *Simples/Aquecimento*: Sem ar-condicionado, mas com aquecimento, painel conforme a Figura 3.2;
- *Simples*: Sem ar-condicionado e sem aquecimento, painel conforme a Figura 3.3.



Figura 3.1: Controle do sistema de ventilação do modelo *Ar-condicionado*



Figura 3.2: Controle do sistema de ventilação do modelo *Simples/Aquecimento*



Figura 3.3: Controle do sistema de ventilação do modelo *Simples*

No modelo de carro investigado, o usuário pode escolher entre quatro saídas de ar: para o pára-brisa, para as saídas frontais do painel, para os pés dos passageiros e para os pés e o pára-brisa simultaneamente. Neste trabalho, essas saídas serão chamadas de *Pára-brisa*, *Frente*, *Pé* e *Pé/Pára-brisa*, respectivamente.

Para simplificação, quando se disser, por exemplo, carro 002, *Frente-4*, estar-se-á referindo ao ruído do sistema de CAVA do carro 002, na saída de ventilação *Frente* e na velocidade de ventilação 4.

Tabela 3.1: Dados dos carros gravados

	Nº do carro	Sistema de ventilação	Observações
1	001	<i>Ar-condicionado</i>	—
2	002	<i>Ar-condicionado</i>	Gravado dentro de um galpão, alguns carros passando e pessoas falando
3	003	<i>Ar-condicionado</i>	—
4	004	<i>Ar-condicionado</i>	—
5	005	<i>Ar-condicionado</i>	—
6	006	<i>Ar-condicionado</i>	Gravado perto da pista de ruídos, pequeno trator barulhento (mas longe) ao fundo
7	007	<i>Ar-condicionado</i>	—
8	008	<i>Ar-condicionado</i>	Durante a gravação havia pessoas falando e muito movimento de carro
9	009	<i>Simples</i>	—
10	010	<i>Simples</i>	—
11	011	<i>Simples</i>	—
12	012	<i>Simples</i>	—
13	013	<i>Simples</i>	—
14	014	<i>Simples/Aquecimento</i>	—
15	015	<i>Simples/Aquecimento</i>	Gravação feita próxima à pista de ruído, estava movimentada; muitos pássaros

O sistema de gravação utilizado foi o NoiseBook, da HEAD acoustics, mostrado na Figura 3.4. O NoiseBook é um sistema composto por um fone de ouvido e dois microfones. Cada um dos microfones está posicionado em uma das conchas do fone de ouvido. Portanto, há um microfone no lado direito e outro no lado esquerdo. Isso possibilita que o usuário posicione os fones de ouvido na cabeça e, assim, realize uma gravação bi-auricular. Esse sistema é ligado a um *notebook* através de uma conexão USB. A gravação foi feita com uma frequência de amostragem de 44.100 Hz e 16 bits de quantização.

As gravações foram feitas com o carro parado e o motor desligado. **Somente o sistema de ventilação foi gravado, ou seja, o ar condicionado não estava em funcionamento.** O seguinte roteiro foi observado antes das gravações:

- anotaram-se os dados do carro (número, potência do motor, qual o modelo do sis-



Figura 3.4: O sistema de gravação bi-auricular NoiseBook.

tema de ventilação, o número de portas e eventuais observações);

- o *notebook* foi posicionado no banco do carona;
- fecharam-se todas as janelas e portas;
- ajustou-se a posição do assento do motorista, conforme a Figura 3.7;
- ajustou-se a direção das saídas de ar (no centro e para baixo, para evitar o barulho do fluxo de ar incidindo sobre os microfones), conforme a Figura 3.5;
- todas as válvulas das saídas de ar foram abertas, conforme a Figura 3.5;
- caso o carro fosse do modelo *Ar-condicionado* ou do *Simples/Aquecimento*, colocava-se o ajuste do aquecimento no meio, ou seja, entre nenhum aquecimento e aquecimento completo, conforme mostra a Figura 3.6. Deve-se lembrar, porém, que o motor estava desligado, e portanto o ar não era aquecido;
- caso o carro fosse do modelo *Ar-condicionado*, verificava-se se o ar-condicionado estava desligado;
- o responsável pela gravação sentava-se no banco do motorista, com o fone de ouvido do NoiseBook na sua cabeça.

As gravações eram, então, iniciadas. Primeiro gravava-se o ruído de fundo, por pouco mais de cinco segundos, com o carro completamente desligado (inclusive todo o sistema elétrico). Depois, ligando-se o sistema elétrico, posicionava-se a direção de ventilação para o *Pára-brisa* e colocava-se na primeira velocidade de ventilação. Esperava-se pouco mais de cinco segundos, com a cabeça numa posição fixa (olhando para a frente). Depois, colocava-se na segunda velocidade de ventilação. Assim realizou-se sucessivamente para todas as



Figura 3.5: O ajuste das saídas de ar: posicionadas no centro e para baixo. Além disso, as válvulas eram abertas.



Figura 3.6: Ajuste do controle de aquecimento.



Figura 3.7: Ajuste da posição do assento do motorista. (a) antes do ajuste; (b) após o ajuste.

direções e velocidades de ventilação. Antes de cada direção/velocidade, falava-se alto a direção e a velocidade, para que ficasse registrado na gravação e facilitasse a posterior edição. Os ruídos indesejáveis mais comuns encontrados nos locais de gravação eram: carros passando (devido à proximidade da pista de testes); pessoas falando e pássaros piando. A gravação era sempre repetida caso algum desses ruídos fosse detectado, obtendo-se assim, dentro do possível, gravações livres de ruídos vindos de outras fontes que não fossem o sistema de ventilação.

### 3.2 Edição dos sons e cálculo das métricas psicoacústicas

Após as gravações, fez-se a edição dos sons. Para cada carro gravado, criaram-se dezesseis arquivos de som, para cada uma das condições: quatro velocidades de ventilação e quatro saídas de ar. Cada arquivo tinha 5 segundos de duração. Os arquivos eram do tipo *\*.dat*, que carregam consigo a informação sobre a calibração. Não foi feito nem *fade in* e nem *fade out* pois o programa disponível, capaz de editar arquivos *\*.dat*, não tinha esta função.

A seguir, utilizando o programa dBSONIC, da 01dB-Metravib, para todos os sons, calculou-se a FFT, o *loudness*, a intensidade de flutuação, a aspereza, a agudeza, a razão tom-ruído e a proeminência. Os resultados são apresentados separadamente para os dois canais, esquerdo e direito, mas tirou-se a média entre eles.

O cálculo do *loudness* foi feito pelo método de Zwicker (método B da norma ISO 532), considerando campo difuso, com intervalos de tempo de 2 ms. O resultado é mostrado em *soneGD* (*sone* é a unidade de *loudness*, “GD” indica que se utilizou o método de Zwicker).

A intensidade de flutuação e a aspereza também foram calculadas com intervalos de tempo de 2 ms, e os resultados são mostrados em *cVacil* e *cAsper*, respectivamente. “Vacil” e “Asper” são as unidades dessas métricas, “c” indica uma multiplicação por  $10^{-2}$  (1 Vacil = 100 *cVacil* e 1 Asper = 100 *cAsper*).

A proeminência e a razão tom-ruído foram calculadas pela norma ANSI S1.12 (1995), com resolução em frequência de 2,7 Hz e sobreposição de janelas de 50%. Não se utilizou nenhuma curva de ponderação.

Os valores das métricas dos sons que participaram da avaliação subjetiva (ver a Seção 3.4.1) estão mostrados no Apêndice D (página 155).

### 3.3 Análises iniciais

A primeira análise feita dos dados foi auditiva. Escutou-se um a um os ruídos dos modelos *Ar-condicionado* e *Simples*. Como apenas dois carros do modelo *Simples/Aquecimento* haviam sido gravados, eles não entraram nas análises.

A seguir, citar-se-ão algumas das observações possíveis a partir desta avaliação auditiva.

- Os modelos *Ar-condicionado* e *Simples* soam nitidamente diferentes.
- Dentro de um mesmo modelo, mesma saída de ar e mesma velocidade de ventilação, o sistema de CAVA dos carros soam parecidos, mas um carro pode ser, em geral, facilmente distinguido do outro.
- Em várias gravações, podem-se ouvir tons.
- Como no modelo *Ar-condicionado* o *loudness* é menor que no *Simples*, os tons são mais fáceis de serem percebidos. Isso ocorre por causa das diferenças existentes entre as estruturas dos sistemas de ventilação.

Posteriormente, comparou-se as FFT's dos modelos *Simples* e *Ar-condicionado*. Em geral, o nível de pressão sonora do modelo *Simples* é maior que no modelo *Ar-condicionado*, para quase todas as faixas de frequência. O mesmo acontece com o *loudness* e com as outras métricas. Quando se aumenta a velocidade de ventilação, o nível de pressão sonora aumenta, e os valores das outras métricas também aumentam.

### 3.4 Primeira avaliação subjetiva

O objetivo da primeira avaliação subjetiva era determinar se as diferenças no *loudness*, na aspereza, na intensidade de flutuação, na agudeza, na razão tom-ruído e na proeminência, encontradas de um carro para outro, são realmente significativas, ou seja, foi investigado quais desses atributos do som fazem diferença na percepção subjetiva das pessoas. Para isso, uma avaliação subjetiva de similaridade foi realizada. Os resultados possibilitaram diminuir a quantidade de sons utilizados na segunda avaliação subjetiva (ver Capítulo 4), que teve como objetivo determinar qual tipo de ruído do sistema de CAVA gera mais incômodo.

Para avaliar a semelhança ou diferença entre os sons, foi escolhido o método da comparação pareada<sup>1</sup>, com a utilização de uma escala por linhas<sup>2</sup>. Na extremidade direita da linha estava escrito “Muito parecidos” e, na esquerda, “Pouco parecidos”, como mostra a Figura 3.8. A linha possuía 10 cm de comprimento. Após ouvir o par de sons, os sujeitos eram instruídos a decidir o quanto consideravam aqueles sons parecidos. Deveriam, então, marcar o ponto na linha que melhor representasse a sua percepção.

Otto et al. (2001) relatam que, em comparações pareadas de similaridade, quando se usam escalas com números, em que o menor valor representa sons considerados muito diferentes e o maior representa sons muito parecidos, os sujeitos evitam usar os extremos da escala, até mesmo quando os sons do par são idênticos. Esse problema pode ser contornado usando-se uma escala por linhas não numerada [Otto et al., 2001]. Assim foi feito por Ilmoniemi, Välimäki e Huotilainen (2004), num trabalho em que testes de similaridade eram usados para determinar a importância de alguns atributos na percepção do timbre de um instrumento musical. Assim mesmo, quando os sons do par eram idênticos, o extremo da escala nem sempre era usado.

Nesta avaliação, preferiu-se não escolher um grupo de sons e comparar todos com todos, pois isto implicaria ou numa grande quantidade de pares ou num número pequeno de sons<sup>3</sup>. Uma grande quantidade de pares torna a avaliação subjetiva longa e cansativa para os sujeitos. Um número pequeno de sons, por outro lado, limitaria a abrangência do teste — não seria possível trabalhar com as várias condições de ventilação. Assim, optou-se por escolher um som como referência e comparar todos os outros apenas com esta referência. Para que se pudesse abranger diversas condições de ventilação, dividiu-se a avaliação em cinco grupos, conforme mostra a Tabela 3.2. Os critérios para a seleção desses grupos estão explicados na próxima seção.

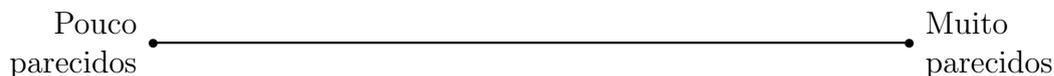


Figura 3.8: A escala por linha utilizada na primeira avaliação subjetiva

<sup>1</sup>Sobre comparação pareada, ver a página 28

<sup>2</sup>Sobre escalas por linha, ver a página 26

<sup>3</sup>Numa comparação pareada com  $n$  sons, caso se deseje comparar todos com todos, nas duas possíveis ordens de apresentação, tem-se  $n(n - 1)$  pares. Ou seja, 10 sons resultaria em 90 pares.

### 3.4.1 Critérios para a seleção dos sons

Alguns critérios foram observados para a seleção dos sons que participaram da primeira avaliação subjetiva. O primeiro deles é que não houvesse som de vento incidindo sobre o microfone. Em muitas das gravações pode-se observar isso, principalmente na condição *Frente-4*, o que indica a necessidade de se direcionar a ventilação no sentido oposto à posição da cabeça, ao invés de centralizar todas as saídas de ar.

Procurou-se também utilizar todos os tipos de saída de ar existentes, além de duas velocidades de ventilação: a mais alta (velocidade 4) e uma mais baixa (velocidade 2). Não se utilizou a velocidade 1 pois o seu nível de *loudness* era muito baixo. Também se utilizou dois modelos de ventilação: *Simples* e *Ar-condicionado*. Assim, o grupo 1 é formado pelos carros do modelo *Simples, Pé-4*; o grupo 2 pelos carros do modelo *Ar-condicionado, Pé/Pára-brisa-4*; o grupo 3 pelos carros do modelo *Ar-condicionado, Frente-2*; e o grupo 4 pelos carros do modelo *Simples, Pára-brisa-2*. No grupo 5 utilizaram-se gravações apenas do carro 013. A Tabela 3.2 detalha todos os sons que participaram desta avaliação subjetiva.

Para se escolher os grupos de 1 a 4, consideraram-se os seguintes critérios, além dos anteriormente citados:

- mesma saída de ar e mesma velocidade de ventilação, com o objetivo de comparar vários carros na mesma condição;
- o grupo precisava ter um som A que tivesse as métricas psicoacústicas bem parecidas com as de um som B, mas, ao mesmo tempo, era necessário haver um som C com as métricas bem diferentes de A. Assim, o som A era escolhido como referência;

Para isso, procedeu-se da seguinte forma: numa dada saída de ar e velocidade de ventilação, calcularam-se as métricas psicoacústicas para todos os carros. Então tirou-se a média dos valores de cada métrica psicoacústica e dividiu-se o valor calculado para cada carro pela média. Por exemplo, para o modelo *Simples, Pé-4*, calculou-se o *loudness* de cada carro e a média, e depois dividiu-se o valor de *loudness* de cada carro pela média. Esse resultado foi chamado de *valor normalizado*. A Tabela 3.3 mostra, na segunda coluna, o *loudness* de cada carro e, na terceira, o *valor normalizado* do *loudness*. Isso foi feito também para a agudeza, a aspereza e a intensidade de flutuação. Os *valores normalizados* dessas quatro métricas foram graficados todos juntos. Assim, para uma dada condição de ventilação, podia-se comparar a variação desses valores entre todos os carros de um

Tabela 3.2: Grupos com os sons escolhidos para a avaliação subjetiva.

Grupo	Modelo	Som de referência	Demais sons
1	<i>Simples</i>	Carro 013, <i>Pé-4</i>	Carro 009, <i>Pé-4</i>
			Carro 010, <i>Pé-4</i>
			Carro 011, <i>Pé-4</i>
			Carro 012, <i>Pé-4</i>
2	<i>Ar-condicionado</i>	Carro 008, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	Carro 001, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>
			Carro 002, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>
			Carro 003, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>
			Carro 004, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>
			Carro 005, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>
			Carro 006, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>
			Carro 007, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>
3	<i>Ar-condicionado</i>	Carro 005, <i>Frente-2</i>	Carro 001, <i>Frente-2</i>
			Carro 002, <i>Frente-2</i>
			Carro 003, <i>Frente-2</i>
			Carro 004, <i>Frente-2</i>
			Carro 006, <i>Frente-2</i>
			Carro 007, <i>Frente-2</i>
			Carro 008, <i>Frente-2</i>
4	<i>Simples</i>	Carro 013, <i>Pára-brisa-2</i>	Carro 009, <i>Pára-brisa-2</i>
			Carro 010, <i>Pára-brisa-2</i>
			Carro 011, <i>Pára-brisa-2</i>
			Carro 012, <i>Pára-brisa-2</i>
5	<i>Simples</i>	Carro 013, <i>Pé-4</i>	Carro 013, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>
			Carro 013, <i>Frente-4</i>
			Carro 013, <i>Pára-brisa-4</i>
			Carro 013, <i>Pé-3</i>
			Carro 013, <i>Pé-2</i>
			Carro 013, <i>Pé-1</i>

determinado modelo, verificando-se se havia dois com as métricas parecidas e pelo menos um com as métricas diferentes.

Embora os sons tenham sido escolhidos por esse critério, quando já se realizava a avaliação subjetiva descobriu-se um erro no programa que fez os cálculos e gerou os gráficos. Não compensava parar a avaliação para reescolher os sons, primeiro porque muitos dos sujeitos teriam que ser reconvocados, segundo porque não era um erro que fosse prejudicar o desenvolvimento do trabalho.

O grupo 5 teve o objetivo tanto de comparar os vários tipos de saída de ar quanto várias velocidades de ventilação, dentro de um mesmo automóvel. Assim, a referência 013, *Pé-4*, é comparada com as saídas de ar *Pé/Pára-brisa-4*, *Frente-4* e *Pára-brisa-4* (mesma

Tabela 3.3: Exemplo da *normalização* feita para a seleção dos sons.

Carro	<i>loudness</i>	<i>loudness</i> normalizado
009	33,4	1,042
010	32,2	1,005
011	32,3	1,008
012	31,7	0,989
013	30,6	0,955
Média	32,04	1,000

velocidade de ventilação) e com as saídas *Pé-3*, *Pé-2* e *Pé-1* (velocidades de ventilação diferentes).

### 3.4.2 Alguns detalhes da preparação da avaliação

Cada som do par tinha 5 segundos de duração, com um intervalo de 1 segundo entre eles. Não foi feito nem *fade in* e nem *fade out* nas amostras de som. Assim, o início e o final dos sons eram, muitas vezes, abruptos, o que pode influenciar na percepção dos sujeitos.

Para o português, não existem estudos de espaços verbais para a avaliação e descrição de sons [Paul, 2005]. Nesse caso, recomenda-se evitar o uso de palavras [Guski, 1997]. Por isso, procurou-se construir uma escala com o menor número de palavras possível — elas aparecem somente nos extremos da escala. Não se usaram termos como “igual” ou “idêntico” pois isso poderia induzir o sujeito a pensar que havia pares em que os dois sons eram iguais e, assim, ele se preocuparia com o seu desempenho, tentando “acertar” quais pares seriam esses. Considerou-se também que os ruídos do sistema de CAVA de um modelo de automóvel são sempre parecidos, por isso usou-se o adjetivo “parecido” nas duas pontas da escala, precedido do advérbio “pouco” ou “muito”, conforme mostra a Figura 3.8.

A avaliação foi dividida em três etapas, denominadas de **Treinamento**, **Conhecendo os sons** e **Avaliação subjetiva**.

No **Treinamento**, três pares de sons foram apresentados aos sujeitos, conforme mostra a Tabela 3.4, para que eles se familiarizassem com o teste. Para o primeiro par, escolheu-se dois sons do grupo 1 que tivessem o volume e o espectro bem parecidos. Para o segundo, escolheu-se dois sons do grupo 4 com o volume parecido, mas com o espectro um pouco diferente. Para o terceiro, escolheu-se um som do grupo 2 e outro do 3 que, por serem de velocidades de ventilação diferentes, tinham o volume bem diferente. Essa esco-

lha foi feita de forma subjetiva pelo pesquisador. Porém, como pode-se ver pela Tabela 3.9 (página 61), o primeiro par do **Treinamento** realmente recebeu a pontuação mais alta (7,3 pontos), sendo que o segundo recebeu 4,5 pontos e o terceiro, 0,4 pontos.

Tabela 3.4: Os pares utilizados no **Treinamento**, na ordem em que foram apresentados

Par	1º som	2º som	Grupo
1	010, <i>Pé-4</i>	011, <i>Pé-4</i>	1
2	010, <i>Pára-brisa-2</i>	011, <i>Pára-brisa-2</i>	4
3	001, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	001, <i>Frente-2</i>	2 e 3

Na etapa **Conhecendo os sons**, 40 sons foram apresentados aos sujeitos, conforme mostra a Tabela 3.5. Cada som tinha 5 segundos de duração e o intervalo entre um e outro era de 1 segundo. O objetivo era mostrar aos sujeitos toda a variedade de sons existente, fazendo com que eles desde já notassem o quão diferentes os sons podem ser entre si. Era importante também que os sujeitos não soubessem ao certo quantos sons faziam parte do teste, para que não deduzissem que alguns pares são repetidos ou invertidos. Assim, todos os sons foram apresentados (32, no total) e alguns foram repetidos. Depois constatou-se que esse número foi excessivo. Durante esta etapa, os sujeitos passavam quatro minutos apenas ouvindo os sons, o que pode causar tédio, distração e cansaço.

Na etapa **Avaliação subjetiva**, que é de onde se tirou os resultados da pesquisa, 34 pares foram apresentados aos sujeitos. Para cada grupo, construíram-se pares em que se tinha o som de referência como o 1º som e cada um dos demais como o 2º som. A Tabela 3.6 detalha cada par, a ordem de apresentação deles e a que grupo pertencem. Assim, os pares 1, 7, 13 e 19 pertencem ao grupo 1; os pares 2, 8, 14, 20, 25, 29 e 32 pertencem ao grupo 2; os pares 3, 9, 15, 21, 26, 30 e 33 pertencem ao grupo 3; os pares 4, 10, 16 e 22 pertencem ao grupo 4 e os pares 5, 11, 17, 23, 27 e 31 pertencem ao grupo 5. Também comparou-se o som de referência do grupo 1 com o som de referência do grupo 2 (par 6) e o som de referência do grupo 3 com o som de referência do grupo 4 (par 12). O par 18 é uma repetição do par 6 com a ordem dos sons invertida, e o par 24 é uma repetição do par 12 com a ordem dos sons invertida. O par 28 é uma repetição do par 7 e o par 34 é uma repetição do par 3.

Tabela 3.5: Os sons apresentados em **Conhecendo os sons**, na ordem em que foram apresentados

Ordem	Som apresentado	Ordem	Som apresentado
1	013, <i>Pé-4</i>	21	003, <i>Frente-2</i>
2	009, <i>Pé-4</i>	22	011, <i>Pára-brisa-2</i>
3	008, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	23	013, <i>Pára-brisa-4</i>
4	002, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	24	013, <i>Pé-4</i>
5	005, <i>Frente-2</i>	25	012, <i>Pé-4</i>
6	002, <i>Frente-2</i>	26	004, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>
7	013, <i>Pára-brisa-2</i>	27	004, <i>Frente-2</i>
8	009, <i>Pára-brisa-2</i>	28	010, <i>Pára-brisa-2</i>
9	013, <i>Pé-4</i>	29	013, <i>Pé-3</i>
10	013, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	30	005, <i>Frente-2</i>
11	013, <i>Pé-4</i>	31	005, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>
12	008, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	32	006, <i>Frente-2</i>
13	010, <i>Pé-4</i>	33	013, <i>Pé-2</i>
14	001, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	34	010, <i>Pé-4</i>
15	001, <i>Frente-2</i>	35	006, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>
16	012, <i>Pára-brisa-2</i>	36	007, <i>Frente-2</i>
17	013, <i>Frente-4</i>	37	013, <i>Pé-1</i>
18	013, <i>Pára-brisa-2</i>	38	007, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>
19	011, <i>Pé-4</i>	39	008, <i>Frente-2</i>
20	003, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	40	002, <i>Frente-2</i>

### 3.4.3 Questionário

O questionário completo, da forma em que foi apresentado aos sujeitos, pode ser visto no Apêndice B (página 139).

Na primeira página do questionário havia um cabeçalho com o nome da universidade onde foi feita a pesquisa, o laboratório, o nome do mestrando responsável e as formas de contato (*e-mail* e telefone). Em seguida, havia o título (**Avaliação subjetiva 01**) e, depois, um agradecimento e a informação sobre a confidencialidade dos dados:

Obrigado por participar desta pesquisa. As informações aqui prestadas são confidenciais e só serão utilizadas nesta pesquisa.

Em seguida, havia um espaço para se preencher a data da realização da avaliação, a idade e o sexo do sujeito:

Data da realização da avaliação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Tabela 3.6: Os pares utilizados na **Avaliação subjetiva**, na ordem em que foram apresentados

Par	1º som	2º som	Grupo
1	013, <i>Pé-4</i>	009, <i>Pé-4</i>	1
2	008, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	002, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	2
3	005, <i>Frente-2</i>	002, <i>Frente-2</i>	3
4	013, <i>Pára-brisa-2</i>	009, <i>Pára-brisa-2</i>	4
5	013, <i>Pé-4</i>	013, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	5
6	013, <i>Pé-4</i>	008, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	1 e 2
7	013, <i>Pé-4</i>	010, <i>Pé-4</i>	1
8	008, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	001, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	2
9	005, <i>Frente-2</i>	001, <i>Frente-2</i>	3
10	013, <i>Pára-brisa-2</i>	012, <i>Pára-brisa-2</i>	4
11	013, <i>Pé-4</i>	013, <i>Frente-4</i>	5
12	005, <i>Frente-2</i>	013, <i>Pára-brisa-2</i>	3 e 4
13	013, <i>Pé-4</i>	011, <i>Pé-4</i>	1
14	008, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	003, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	2
15	005, <i>Frente-2</i>	003, <i>Frente-2</i>	3
16	013, <i>Pára-brisa-2</i>	011, <i>Pára-brisa-2</i>	4
17	013, <i>Pé-4</i>	013, <i>Pára-brisa-4</i>	5
18	008, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	013, <i>Pé-4</i>	2 e 1
19	013, <i>Pé-4</i>	012, <i>Pé-4</i>	1
20	008, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	004, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	2
21	005, <i>Frente-2</i>	004, <i>Frente-2</i>	3
22	013, <i>Pára-brisa-2</i>	010, <i>Pára-brisa-2</i>	4
23	013, <i>Pé-4</i>	013, <i>Pé-3</i>	5
24	013, <i>Pára-brisa-2</i>	005, <i>Frente-2</i>	4 e 3
25	008, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	005, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	2
26	005, <i>Frente-2</i>	006, <i>Frente-2</i>	3
27	013, <i>Pé-4</i>	013, <i>Pé-2</i>	5
28	013, <i>Pé-4</i>	010, <i>Pé-4</i>	1
29	008, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	006, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	2
30	005, <i>Frente-2</i>	007, <i>Frente-2</i>	3
31	013, <i>Pé-4</i>	013, <i>Pé-1</i>	5
32	008, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	007, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	2
33	005, <i>Frente-2</i>	008, <i>Frente-2</i>	3
34	005, <i>Frente-2</i>	002, <i>Frente-2</i>	3

Qual a sua idade? R: \_\_\_\_\_

Sexo:  M  F

Para se saber se os sujeitos já tinham participado de outras avaliações subjetivas de sons, ou mesmo se já tinham aplicado avaliações subjetivas, acrescentou-se a seguinte

pergunta:

Você tem experiência em avaliações subjetivas de sons?  S  N

Caso positivo, por favor, detalhe um pouco mais no espaço abaixo.

Como já se esperava que muitos dos sujeitos que participariam da avaliação seriam do próprio Laboratório de Vibrações e Acústica, acrescentou-se a seguinte pergunta:

Você trabalha com acústica?  S  N

Caso positivo, por favor, detalhe um pouco mais no espaço abaixo (a área em que trabalha, se tem experiência em psicoacústica ou qualidade sonora, etc.).

Para saber se os sujeitos possuíam carro ou dirigiam algum da família com frequência, foram feitas as seguintes perguntas:

Você possui carro?  S  N

Caso negativo, a sua família possui algum carro que você sempre dirija?  S  N

A explicação de como seria o teste foi feita da seguinte forma:

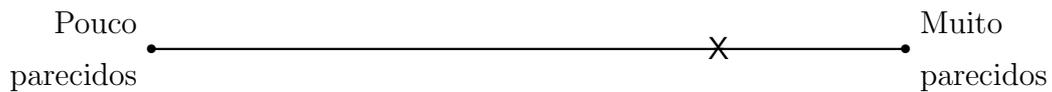
A finalidade deste teste é avaliar subjetivamente os sons do sistema de ventilação de automóveis. É importante que você seja honesto nas suas respostas. Tenha em mente que não existem respostas certas ou erradas.

Serão apresentados a você 34 pares de sons. Cada som do par terá cinco segundos. Após ouvir um desses pares com atenção, você deverá decidir se eles são  *muito parecidos, pouco parecidos*, ou se apenas são  *mais ou menos parecidos*. Haverá uma linha em que estará escrito, em uma extremidade, “Muito parecido” e, na outra, “Pouco parecido”. Você deverá marcar na linha o ponto que melhor corresponde à sua impressão.

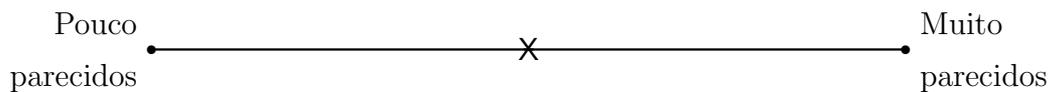
No parágrafo anterior, há uma falha na explicação que gerou dúvidas em alguns dos sujeitos. Quando se diz “Cada som do par terá cinco segundos. Após ouvir um desses

pares com atenção, você deverá decidir se eles são...”, não fica claro que se deve comparar um som do par com o outro som do par. Uma explicação melhor seria: “Cada som do par terá cinco segundos. Após ouvir um desses pares com atenção, você deverá decidir se os sons do par são...”.

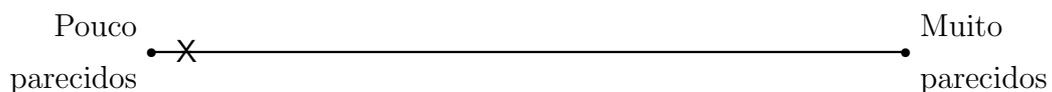
Por exemplo, após ouvir um par de sons você concluiu que eles são parecidos, mas não muito. Marque então na linha o ponto correspondente à sua impressão:



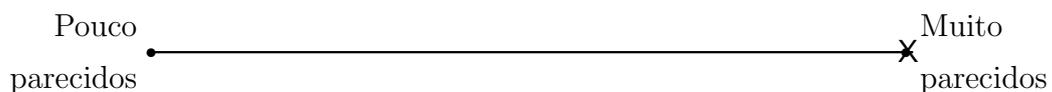
Mas se você concluiu que eles são mais ou menos parecidos, você poderá marcar na região central da linha:



Se, ao contrário, você concluiu que eles são pouco parecidos, marque na linha o ponto que melhor representa a sua impressão:



Você poderá também marcar nas extremidades da linha, conforme achar conveniente:



As informações sobre a possibilidade de repetição de um par e de se fazer comentários são dadas em seguida, e também sobre a duração do teste.

O par poderá ser tocado novamente sempre que você achar necessário. Haverá também um espaço para eventuais comentários que você queira fazer.

A duração deste teste é de cerca de meia hora.

A seguir, o texto informa as três etapas que fizeram parte do teste:

Este teste terá três etapas:

1. **Treinamento.** Será uma pequena simulação do teste, para que você se familiarize com ele.
2. **Conhecendo os sons.** Os sons que farão parte do teste lhe serão apresentados.
3. **Avaliação subjetiva.** Finalmente, os pares da avaliação subjetiva lhe serão apresentados.

### 3.4.4 Procedimento utilizado

Os sons foram apresentados através de um fone de ouvido (HD 580, da Sennheiser). Todos os sujeitos utilizaram o mesmo fone de ouvido. As gravações foram reproduzidas através do programa dBSONIC, da 01dB-Metravib. Os arquivos de som estavam no formato *\*.dat*. Este formato é gerado pelo NoiseBook e garante que a gravação seja reproduzida no volume correto. Utilizou-se uma equalização padrão, disponível no dBSONIC, para o fone de ouvido HD 580, campo difuso, a fim de compensar a resposta em frequência do fone. A placa de som utilizada foi a VXpocket v2, da Digigram. O sistema montado para a apresentação dos sons aos sujeitos está esquematizado na Figura 3.9.

A Figura 3.10 mostra a sala e o carro onde foi realizado o teste com júri, durante uma das avaliações subjetivas. Cada sujeito fazia a avaliação sozinho, e eles se posicionavam dentro do carro, no banco do motorista, com o intuito de aproximá-los da utilização real do sistema de CAVA.

A sala apresentava vários problemas para a realização dos testes: a temperatura não era controlada e fazia calor, principalmente no período vespertino; havia também muitas fontes de ruído externas perfeitamente audíveis dentro da sala, como pessoas falando, telefone tocando na sala ao lado, barulho de uma obra que estava sendo realizada nas imediações do prédio, etc.

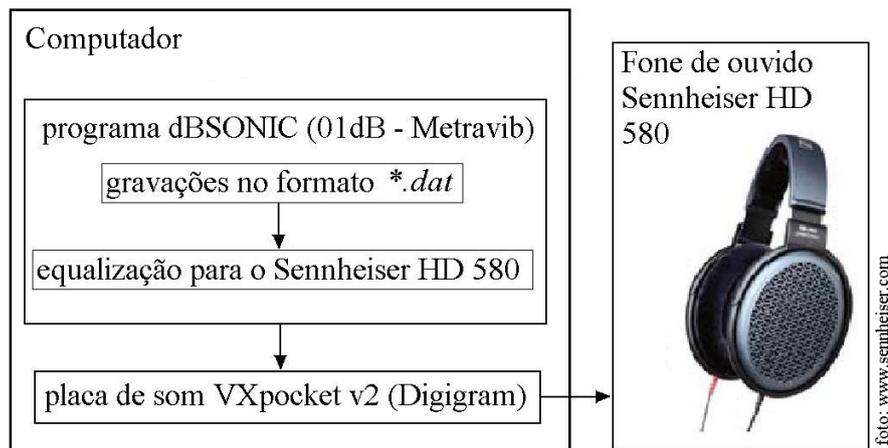


Figura 3.9: Sistema montado para a apresentação dos sons na avaliação subjetiva.

Os sujeitos eram voluntários, não foram pagos para a realização do teste e não foram identificados.

No início da avaliação, o questionário era dado aos sujeitos e eles eram, então, instruídos a entrar no carro, sentar-se no banco do motorista, preencher a parte inicial do questionário (a primeira página) e ler as explicações de como seria feito o teste<sup>4</sup>. Quaisquer dúvidas que os sujeitos apresentassem eram respondidas pelo avaliador<sup>5</sup>. As portas do carro permaneciam fechadas mas as janelas abertas, o que facilitava a comunicação entre o sujeito e o pesquisador e ainda aliviava o calor, quando era o caso. Entretanto, por ter descarregado a bateria do carro, em muitas das avaliações não foi possível abrir as janelas, então ou se usavam as janelas e as portas fechadas, quando a temperatura ambiente permitia, ou as janelas fechadas e uma das portas aberta.

Antes da apresentação de cada par, falava-se alto o número do par, para que não houvesse confusão entre o par apresentado e o par que o sujeito estava marcando no questionário.

A Figura 3.11 detalha o posicionamento do pesquisador e do sujeito durante as avaliações subjetivas.

<sup>4</sup>Notou-se que algumas pessoas não lêem direito as explicações, e acabam fazendo perguntas que já estão respondidas. Por exemplo, um sujeito sugeriu que se deveria dizer de onde são aqueles sons e qual o objetivo da avaliação, sendo que isso já estava escrito no questionário.

<sup>5</sup>Uma pergunta freqüente era sobre os critérios que se deveriam usar para avaliar a diferença entre os sons; nesse caso, respondia-se que eles deveriam ser escolhidos pelo próprio sujeito.



Figura 3.10: A sala e o carro utilizados nas avaliações subjetivas.



(a)



(b)

Figura 3.11: Avaliação subjetiva: (a) posicionamento do pesquisador; (b) posicionamento do sujeito.

### 3.5 Perfil dos sujeitos e médias das respostas subjetivas

A avaliação foi aplicada em vinte e sete sujeitos entre os dias 22 de novembro e 15 de dezembro de 2005. A média de idade é de 29,7 anos com desvio padrão de 9,68 anos. A idade mínima é 15 e a máxima 57 anos. Participaram vinte e dois homens (81,5% do total) e cinco mulheres (18,5%). Kidd e Watson (2003) relatam que o resultado da avaliação de homens e de mulheres não são diferentes, portanto, não é necessário se preocupar com a desproporção existente entre os sexos. Onze sujeitos (40,7%) declararam ter algum tipo de experiência em avaliações subjetivas de sons, sendo que: quatro disseram ter participado de testes subjetivos relacionados a protetores auditivos; três disseram ter participado de uma avaliação de ruídos de aeronaves; um disse trabalhar com sonorização ambiente; um disse que já viu formulários e leu artigos sobre avaliações subjetivas; um disse que a sua experiência é em relação à avaliação de ruídos de sistemas de direção hidráulica; e um disse possuir experiência nos testes de audiologia, qualidade sonora e psicoacústica. Vinte sujeitos (74,1%) declararam trabalhar com acústica (mas apenas três disseram ter ou ter tido algum envolvimento com qualidade sonora). Dezesete sujeitos (63,0%) disseram possuir carro; dentre os que não possuem, três disseram sempre dirigir algum carro da família. A Tabela 3.7 resume o perfil dos sujeitos desta avaliação.

Tabela 3.7: Perfil dos sujeitos que participaram da primeira avaliação subjetiva.

---

27 sujeitos
Idade média: 29,7 anos, com desvio padrão de 9,68 anos
Idade mínima: 15 anos, máxima: 57 anos
81,5% de homens e 18,5% de mulheres
40,7% declararam ter algum tipo de experiência em avaliações subjetivas de sons
74,1% declararam trabalhar com acústica
63,0% disseram possuir carro, e 11% disseram sempre dirigir algum carro da família

---

A linha utilizada na escala possuía 10 cm. Dessa forma, para se converter as respostas dos sujeitos em números, colocou-se uma régua graduada em centímetros sobre a linha e mediu-se a distância entre a extremidade “Pouco parecidos” e o ponto marcado pelo sujeito. Assim, o valor zero indica que o sujeito marcou sobre a extremidade “Pouco parecidos”, um valor intermediário indica que ele marcou entre as duas extremidades, e o valor dez indica que ele marcou sobre a extremidade “Muito parecidos”. Portanto, a escala subjetiva vai de zero a dez. Por não existir uma unidade adequada, usar-se-á a palavra “ponto”. Assim, pode-se dizer que um sujeito marcou 6 pontos para determinado par. Em tese, quanto mais próximo o valor for de 10 pontos, mais o sujeito considerou os sons do

par parecidos. As respostas de todos os sujeitos, para todos os pares, podem ser vistas no Apêndice C (página 151). A média e o desvio padrão de todos os pares podem ser vistos na Tabela 3.8, enquanto que a média e o desvio padrão dos pares do Treinamento estão mostrados na Tabela 3.9.

Tabela 3.8: Média e desvio padrão da pontuação dada para cada um dos 34 pares.

<b>Par</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
Média	6,7	3,5	7,2	8,2	7,1	1,2	7,2	6,4	4,2	5,5	6,5	2,9	8,3
Desvio padrão	2,3	2,4	2,2	2,1	2,6	1,2	2,4	3,1	3,2	2,9	2,5	2,1	1,8
<b>Par</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>
Média	3,9	5,7	6,6	6,0	1,0	7,5	3,8	7,3	5,1	4,0	1,8	4,1	6,5
Desvio padrão	3,0	3,0	2,9	2,1	1,1	2,4	2,2	2,6	2,9	3,1	2,0	2,3	2,5
<b>Par</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>					
Média	1,0	7,5	5,0	8,3	0,6	5,7	4,4	6,7					
Desvio padrão	1,6	2,7	2,6	1,5	1,1	2,4	2,7	2,4					

Tabela 3.9: Média e desvio padrão da pontuação dada para cada um dos pares do Treinamento.

Par do treinamento	Média	Desvio padrão
1	7,3	2,5
2	4,5	2,5
3	0,4	0,9

### 3.6 Análise dos pares repetidos e invertidos

Para testar a coerência das respostas dos sujeitos, incluíram-se pares repetidos e invertidos. O par 34 é uma repetição do par 3 e o par 28 é uma repetição do par 7. Como se pode ver na Tabela 3.8, tanto o primeiro caso (a média do par 3 é 7,2 pontos e a média do par 34 é 6,7 pontos, com desvios padrões de 2,2 e 2,4 pontos, respectivamente) quanto o segundo (a média do par 7 é 7,2 pontos e a média do par 28 é 7,5 pontos, com desvios padrões de 2,4 e 2,7 pontos, respectivamente) não apresentam médias muito discrepantes. O mesmo ocorre para os pares que se repetem, mas com a ordem dos sons invertida. A média do par 6 é 1,2 pontos e a média do par 18 é 1,0 ponto, com desvios padrões de 1,2 e 1,1 pontos, respectivamente; enquanto que a média do par 12 é 2,9 pontos e a média do par 24 é 1,8 pontos, com desvios padrões de 2,1 e 2,0 pontos, respectivamente. Na Seção 3.7, com a aplicação da prova de Friedman, ver-se-á que estas diferenças não são significativas estatisticamente.

Contudo, apesar de as médias serem parecidas, muitos sujeitos marcam valores bem

discrepantes entre os pares. Isso se pode ver nos histogramas mostrados da Figura 3.12 à 3.15. Esses histogramas foram construídos da seguinte forma: para cada sujeito, calculou-se o módulo da diferença dos valores dados aos pares que se repetiam (com a ordem invertida ou não). Por exemplo, o sujeito 4 atribuiu 7,3 pontos para o par 3 e 7,6 pontos para par 34. Assim, o módulo da diferença é  $|7,3 - 7,6| = 0,3$ . Essa diferença está mostrada no eixo horizontal. No eixo vertical mostra-se a quantidade de sujeitos. Na Figura 3.12, pode-se ver que 16 sujeitos (59%) marcaram até 2 pontos de diferença entre os pares 3 e 34, e que 2 sujeitos (7,4%) marcaram entre 4 e 5 pontos de diferença. Entre os pares 7 e 8, mostrado na Figura 3.13, também 59% dos sujeitos marcaram até 2 pontos de diferença, e 1 sujeito marcou entre 5 e 6 pontos. Já entre os pares 6 e 18, 96% dos sujeitos marcaram até 2 pontos de diferença e, entre os pares 12 e 24, 63% marcaram até 2 pontos de diferença.

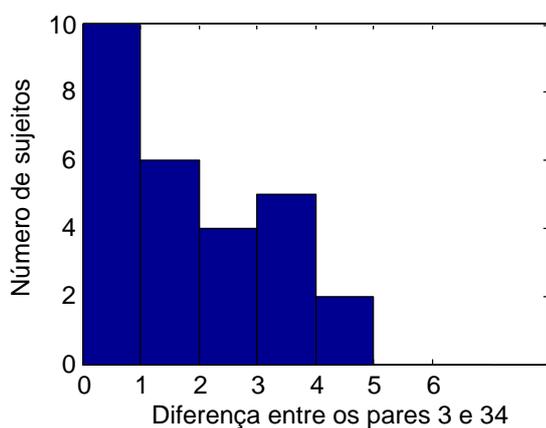


Figura 3.12: Histograma: no eixo horizontal, as diferenças de pontuação entre os pares 3 e 34; no eixo vertical, a quantidade de sujeitos.

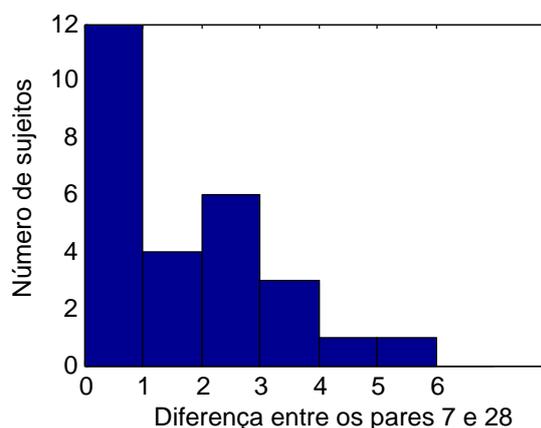


Figura 3.13: Histograma: no eixo horizontal, as diferenças de pontuação entre os pares 7 e 28; no eixo vertical, a quantidade de sujeitos.

Não se deve pensar, porém, que existe um grupo de sujeitos que marca menos de 2 pontos de diferença entre os pares repetidos e que existe outro que marca acima disso. Na verdade, a maioria dos sujeitos marca uma parte acima de 2 pontos e outra parte abaixo. Na Tabela 3.10, pode-se ver a média dessas diferenças para cada um dos sujeitos. Esses valores foram computados da seguinte forma: para cada sujeito, após se ter calculado o módulo das diferenças para os pares que se repetiam, tirou-se a média desses resultados. Assim, por exemplo, o sujeito 4 marcou: 7,3 e 7,6 pontos para os pares 3 e 34, respectivamente; 9,8 e 7,8 pontos para os pares 7 e 28, respectivamente; 0,2 e 1,3 pontos para os

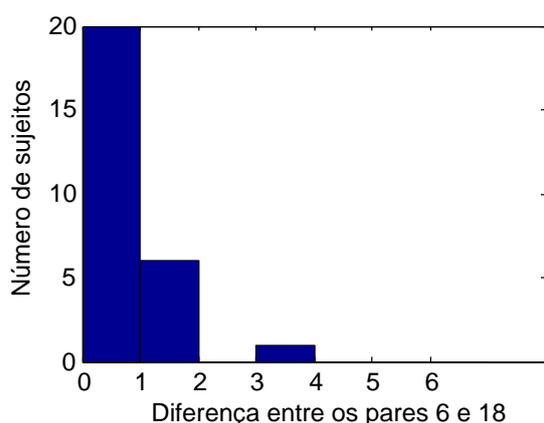


Figura 3.14: Histograma: no eixo horizontal, as diferenças de pontuação entre os pares 6 e 18; no eixo vertical, a quantidade de sujeitos.

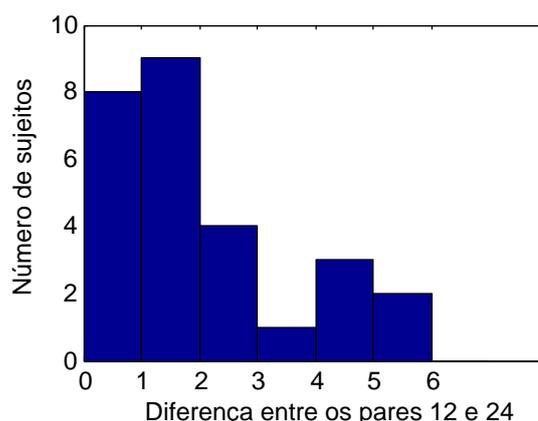


Figura 3.15: Histograma: no eixo horizontal, as diferenças de pontuação entre os pares 12 e 24; no eixo vertical, a quantidade de sujeitos.

pares 6 e 18, respectivamente; e 2,7 e 1,5 pontos para os pares 12 e 24, respectivamente; então, calcula-se a média das diferenças de pontuação:

$$\frac{|7,3 - 7,6| + |9,8 - 7,8| + |0,2 - 1,3| + |2,7 - 1,5|}{4} \approx 1,2$$

Tabela 3.10: Média das diferenças de pontuação entre os pares que se repetem.

Sujeito	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Média das diferenças	1,7	1,3	1,4	1,2	0,9	0,7	0,8	1,7	1,9	0,6	1,5	1,4	1,4	2,4
Sujeito	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Média das diferenças	1,7	0,7	2,4	1,9	1,9	1,9	1,5	1,1	2,2	1,6	1,0	0,7	3,9	

A Tabela 3.10 poderia servir de critério para a eliminação de alguns sujeitos por desempenho insuficiente. O sujeito 27, por exemplo, marcou valores bem discrepantes para todos os pares que se repetiram. Caso se eliminasse, por exemplo, 15% dos sujeitos<sup>6</sup>, tomando como critério a Tabela 3.10, então se escolheriam os sujeitos 14, 17, 23 e 27, que tiveram as médias mais altas. A eliminação deles, no entanto, pouco altera as pontuações dos pares: em média, elas se alteram apenas 0,1175 pontos (com desvio padrão de 0,096 pontos). A alteração máxima ocorre no par 3 e é de 0,3738 pontos. O desvio padrão também quase não muda, muitas vezes ele se torna até um pouco maior. Por isso, e por se ter testado a coerência na resposta dos sujeitos apenas com 4 pares (e dois deles com

<sup>6</sup>Otto et al. (2001), como já foi dito na Seção 2.2.2.2 (página 24), afirmam que, quando se usam empregados da empresa como sujeitos, cerca de 10% dos dados são eliminados por desempenho insuficiente. Quando se usam consumidores, esse número é maior.

a ordem dos sons invertida), optou-se por não eliminar nenhum sujeito.

É interessante também verificar os comentários feitos pelos sujeitos para esses pares. Todos os comentários podem ser lidos no Apêndice E (página 159). O par 3 recebeu o seguinte comentário: “Parecido, mas o segundo parecia ‘abafado’ ”, enquanto que o par 34, idêntico ao par 3, recebeu: “Segundo som mais ‘aberto’ ”. Esses comentários foram feitos pelo mesmo sujeito, e são conflitantes. A mesma incoerência ocorreu entre os pares 12 e 24. Um sujeito escreveu que o som 005, *Frente-2* (segundo som do par 12) era mais grave que o som 013, *Pára-brisa-2* (primeiro som do par 12), mas também escreveu que o som 013, *Pára-brisa-2* (segundo som do par 24) era “mais grave, menos agudo” que o 005, *Frente-2* (primeiro som do par 24). Essas contradições confirmam a variabilidade na resposta dos sujeitos, e não necessariamente ela é causada por falta de treinamento ou por incapacidade. Em conversas informais, alguns sujeitos comentaram que os critérios para avaliação dos pares mudam ao longo do teste. Além disso, o par anterior ao que está sendo avaliado pode influenciar na resposta do sujeito. Uma investigação detalhada sobre o método se faz necessária<sup>7</sup>.

### 3.7 Aplicação da prova de Friedman

Como visto na Seção 2.2.2.7 (página 29), os métodos estatísticos paramétricos exigem que se façam suposições acerca da distribuição de escores da população. Nesta avaliação subjetiva, isso não é possível. Além de a quantidade de sujeitos ser muito baixa, não se pode ter certeza de que os escores da população se distribuiriam conforme a curva normal. Como exemplo, pode-se observar os histogramas das pontuações dos pares 9 e 22, mostrados nas Figuras 3.16 e 3.17, respectivamente. Enquanto que, no par 9, 12 sujeitos (44%) marcaram entre 0 e 2 pontos, 6 sujeitos (22%) marcaram entre 8 e 10 pontos. Já no caso do par 22, a distribuição é quase retangular. Outros pares, entretanto, assumem distribuições que se assemelham à curva normal ou a uma das suas metades. Dessa forma, para se determinar se existem diferenças significativas na pontuação dos pares, optou-se por utilizar a prova de Friedman<sup>8</sup>, por ser um teste não-paramétrico.

Para a realização dos cálculos, utilizou-se um programa comercial. Cada sujeito foi colocado em uma linha da matriz, enquanto que as 34 condições (os pares) foram distribuídas nas colunas. Tem-se então  $\chi_F^2 = 461,3$ , com 33 graus de liberdade. Assim, para

<sup>7</sup>Otto et al. (2001) citam um trabalho (citação 12) em que se faz uma avaliação de similaridade bem semelhante à que foi feita neste trabalho. Infelizmente, não se conseguiu o artigo para leitura.

<sup>8</sup>Um breve esclarecimento sobre a prova de Friedman, bem como referências sobre o assunto, podem ser encontradas na Seção 2.2.2.7 (página 29).

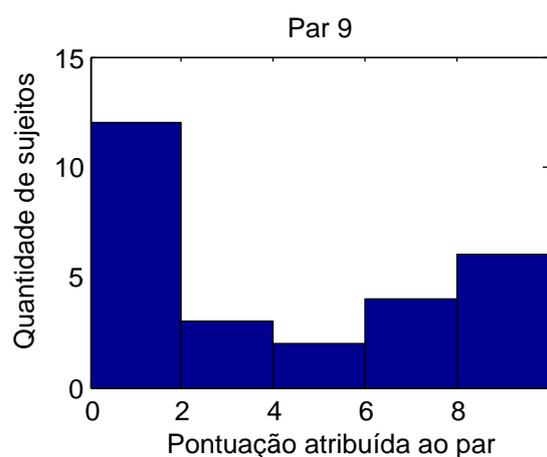


Figura 3.16: Histograma das pontuações do par 9.

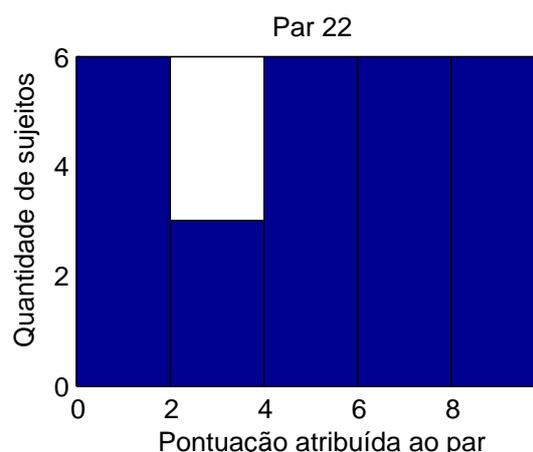


Figura 3.17: Histograma das pontuações do par 22.

$\alpha = 0,005$ , pode-se concluir que os pares têm as médias significativamente diferentes.

Também é necessário comparar os pares entre eles, para saber se entre um e outro a diferença da média é significativa. Essa comparação foi feita usando-se uma das ferramentas do programa, para  $\alpha = 0,05$ . A Figura 3.18 apresenta o resultado. No eixo vertical tem-se os pares e, no horizontal, a média dos postos para cada um dos pares. Escolhendo-se para análise o par 4, por exemplo, ele torna-se azul, conforme a Figura 3.18. Os pares que não têm a média significativamente diferente do par 4 aparecem em cinza, enquanto que os que a têm aparecem em vermelho. Assim, pode-se concluir que o par 2 tem a média diferente do par 4, mas não se pode dizer o mesmo do par 1.

Dessa forma, vê-se que as diferenças encontradas entre os pares que se repetem (3 e 34; 7 e 28) e os pares que se repetem, mas com a ordem dos sons invertida (6 e 18; 12 e 24), não são significativamente diferentes.

### 3.8 Comparações entre os grupos 1, 2, 3 e 4

O objetivo desta seção é comparar os ruídos do sistema de CAVA em uma condição de funcionamento com os ruídos do sistema em outra condição. Para isso, calcularam-se a média e o desvio padrão das pontuações atribuídas aos pares do grupo 1, do 2, do 3 e do 4, separadamente. O resultado pode ser visto na Tabela 3.11. O grupo 5 não foi incluído pois ele é composto por gravações de um mesmo carro, em várias condições de funcionamento diferentes.

Aplicou-se a prova de Friedman colocando-se cada sujeito em uma linha da matriz e

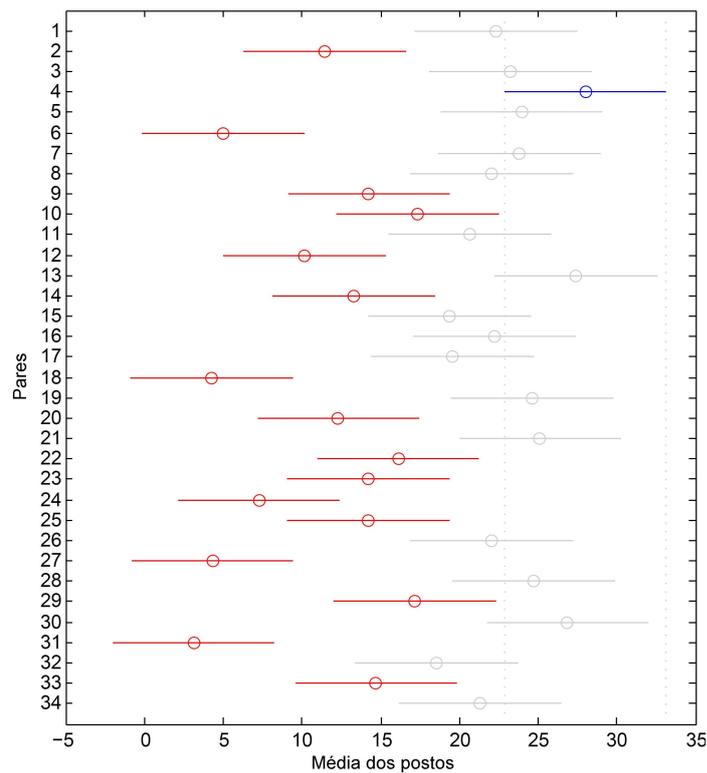


Figura 3.18: Comparação entre as médias dos pares. O par 4 está selecionado (em azul): os pares que não têm a média significativamente diferente do par 4 aparecem em cinza, enquanto que os que a têm aparecem em vermelho.

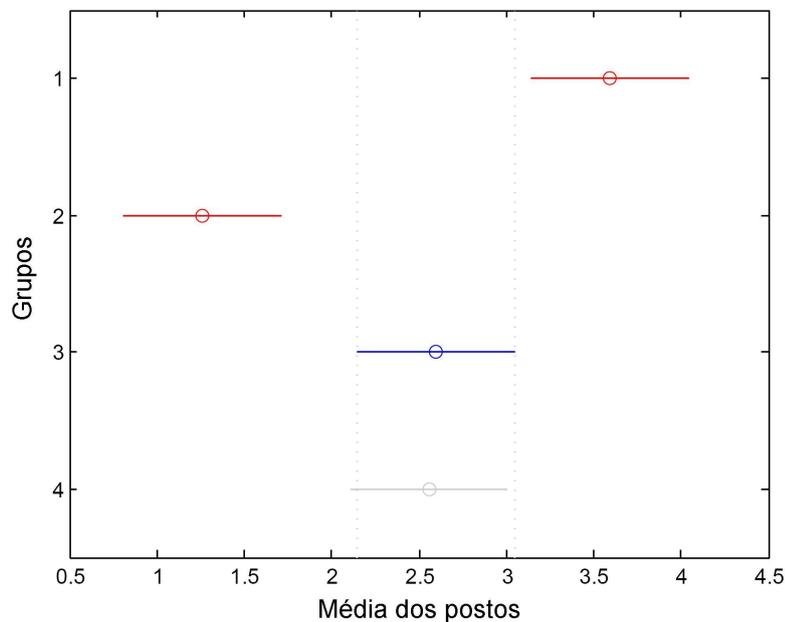


Figura 3.19: Comparação entre as pontuações médias dos grupos 1, 2, 3 e 4. O grupo 3 está selecionado (em azul): os grupos que não têm a média significativamente diferente do grupo 3 aparecem em cinza, enquanto que os que a têm aparecem em vermelho.

os grupos de 1 a 4 em colunas (foi feita a média da pontuação que cada sujeito deu para cada grupo). Obteve-se então  $\chi_F^2 = 44,47$ , com 3 graus de liberdade. Com isso, pode-se concluir que as médias dos grupos são significativamente diferentes para  $\alpha = 0,005$ . Comparando-se os grupos entre eles, vê-se que apenas os grupos 3 e 4 têm a mesma média, conforme mostra a Figura 3.19. Assim, os ruídos do grupo 1 foram considerados mais parecidos com a referência que os ruídos dos outros grupos, enquanto que os ruídos do grupo 2 foram considerados menos parecidos. É interessante notar que os grupos 3 e 4, que têm a velocidade de ventilação 2, possuem a média das pontuações igual e mais próxima do meio da escala. Isso pode indicar que, por terem o *loudness* mais baixo, os sujeitos têm mais dificuldades de perceber as diferenças ou semelhanças entre os sons, o que os leva a marcar no meio da escala. Para uma comprovação dessa hipótese, um estudo mais detalhado seria necessário, o que foge dos propósitos deste trabalho.

Quatro dos pares são compostos por sons de diferentes grupos: os pares 6 e 18 têm sons dos grupos 1 e 2 e os pares 12 e 24, dos grupos 3 e 4. Todos eles receberam pontuações baixas, como se pode ver na Tabela 3.8, o que indica que modelos diferentes do sistema de CAVA são considerados como tendo o ruído pouco parecidos.

Tabela 3.11: Média da pontuação dada a cada grupo.

Grupo	1	2	3	4
Média	7,4	4,6	6,3	6,3
Desvio padrão	2,3	2,6	2,5	2,7

### 3.9 Correlação entre os dados objetivos e subjetivos

O objetivo da correlação, neste trabalho, é encontrar quais métricas psicoacústicas representam bem a percepção de diferença entre os sons em estudo. Além disso, com a regressão linear, podem-se encontrar equações que prevejam razoavelmente novas observações.

Primeiramente, investigou-se por gráficos a relação entre as métricas (conforme foram calculadas na Seção 3.9.3.1) e o resultado subjetivo. Depois, os resultados dos sujeitos foram analisados e comparados com os valores das métricas. Por último, aplicou-se a regressão linear múltipla tanto para todos os pares quanto para os pares apenas dos grupos 1 e 2, dos grupos 3 e 4 e do grupo 5.

### 3.9.1 Uma investigação por gráficos

Uma das formas de se investigar a correlação entre os dados objetivos e subjetivos é graficando-os, colocando no eixo das abscissas os dados objetivos e, no das ordenadas, os dados subjetivos. Nas Figuras 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25 e 3.26, graficou-se o módulo da diferença de *loudness* (para todos os pares), *loudness* (apenas para os pares do grupo 5), agudeza, aspereza, intensidade de flutuação, proeminência e razão tom-ruído, respectivamente, entre os sons de cada par, contra a pontuação média de cada par. Analisando-se a Figura 3.20, vê-se que diferenças grandes de *loudness* entre um som e outro levam o par a ter uma pontuação subjetiva baixa. Porém, podem-se observar três pares que tiveram pontuações entre 1 e 2 e que não possuem a diferença de *loudness* maior do que 5 soneGD. Da mesma forma, outros pares que têm diferença de *loudness* por volta de 5 soneGD receberam pontuações bem mais elevadas. Assim, conclui-se que a diferença de *loudness* não é o único fator a influenciar a percepção de diferença, mas é importante, conforme se pode observar melhor na Figura 3.21, em que se graficou apenas os pares do grupo 5. Este grupo, por ser composto de sons de todas as velocidades de ventilação, possui diferenças de *loudness* crescentes entre o som de referência, que tem velocidade 4, e os demais sons.

Essas análises, que referem-se ao *loudness*, podem ser feitas de forma semelhante também para a aspereza e a proeminência. Pela Figura 3.22 pode-se ver que, quanto maior a diferença de agudeza entre os dois sons, mais eles serão considerados diferentes. Já a intensidade de flutuação e a razão tom-ruído, pelos Figuras 3.24 e 3.26, respectivamente, não mostram ter relação.

Há uma outra maneira de se investigar a relação entre as variáveis objetivas e a resposta subjetiva graficamente. Primeiramente, arranja-se os pares em ordem decrescente em relação à pontuação subjetiva. Depois, do primeiro ao sétimo colocado, faz-se uma média dos seus parâmetros objetivos<sup>9</sup>. Em seguida, faz-se essa média do segundo ao oitavo colocado; e depois do terceiro ao nono, e assim por diante. A última média será do vigésimo oitavo ao trigésimo quarto (pois tem-se 34 pares). O resultado desse método está mostrado nas Figuras 3.27 e 3.28. Os gráficos sugerem que a diferença de aspereza, agudeza, *loudness* e proeminência entre os sons têm uma relação diretamente proporcional com a percepção subjetiva de diferença. A intensidade de flutuação aparentemente não tem relação, e da razão tom-ruído não se podem tirar conclusões.

---

<sup>9</sup>Escolheu-se fazer a média entre 7 pares (e não 6 ou 8, por exemplo) empiricamente.

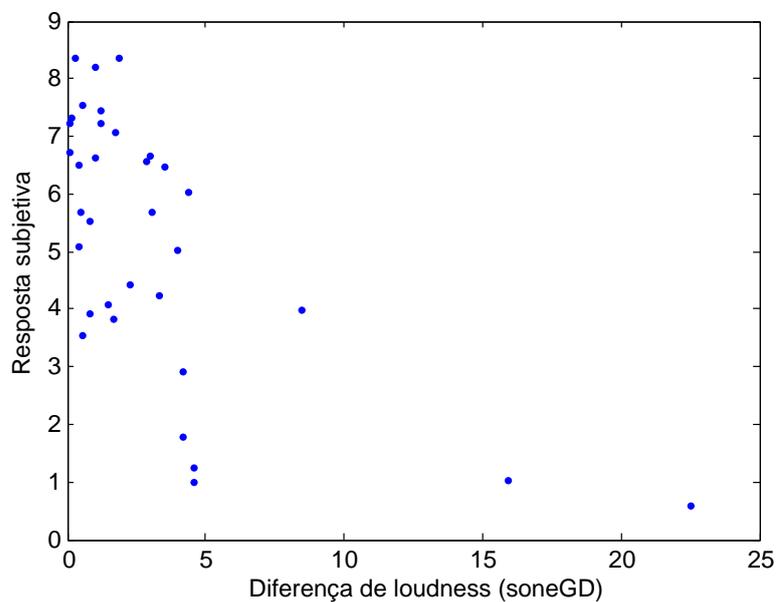


Figura 3.20: Relação entre a diferença de *loudness* entre os sons de cada par e a média das respostas subjetivas.

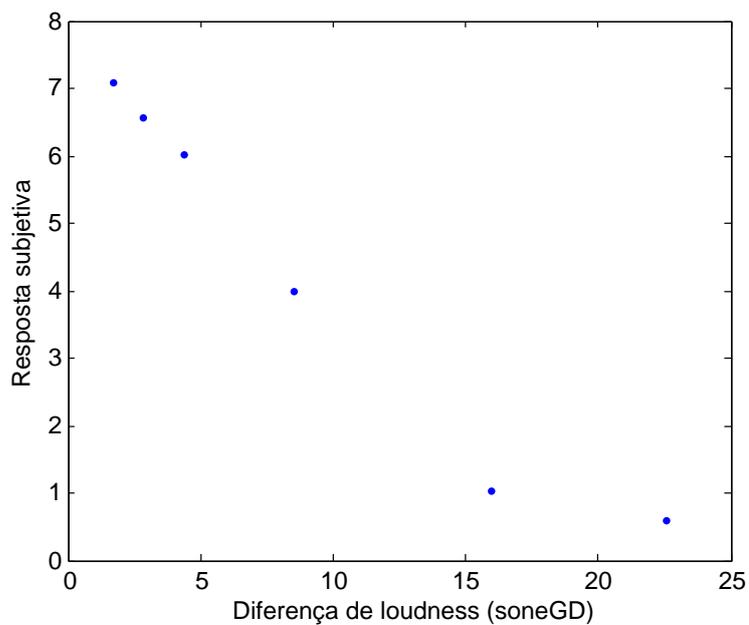


Figura 3.21: Relação entre a diferença de *loudness* entre os sons de cada par do grupo 5 e a média das respostas subjetivas.

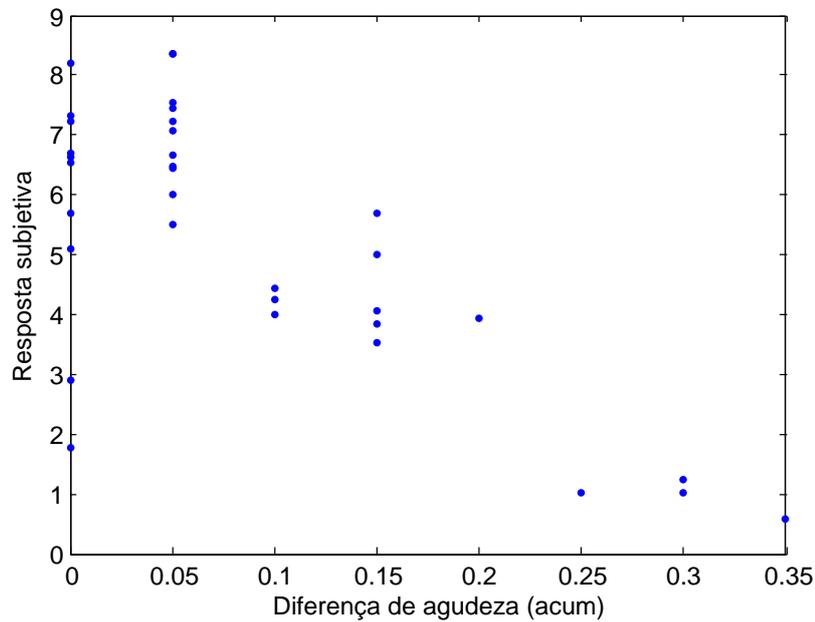


Figura 3.22: Relação entre a diferença de agudeza entre os sons de cada par e a média das respostas subjetivas.

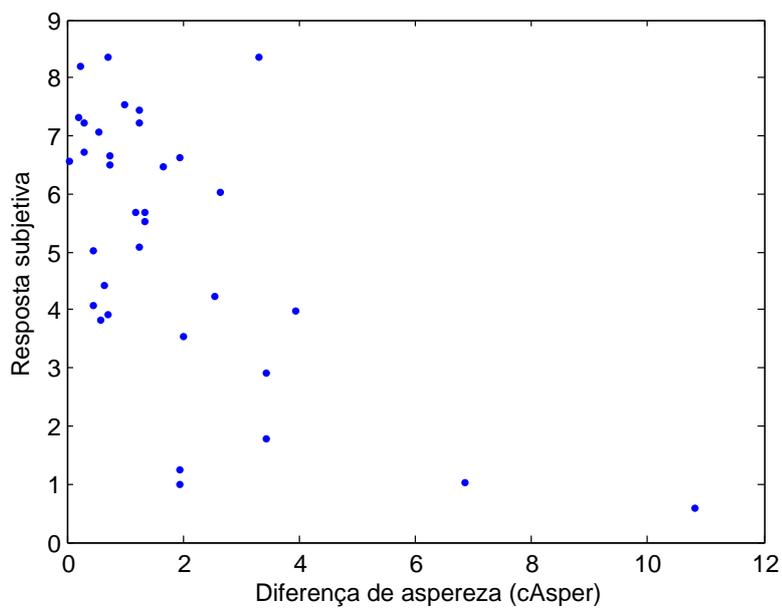


Figura 3.23: Relação entre a diferença de aspereza entre os sons de cada par e a média das respostas subjetivas.

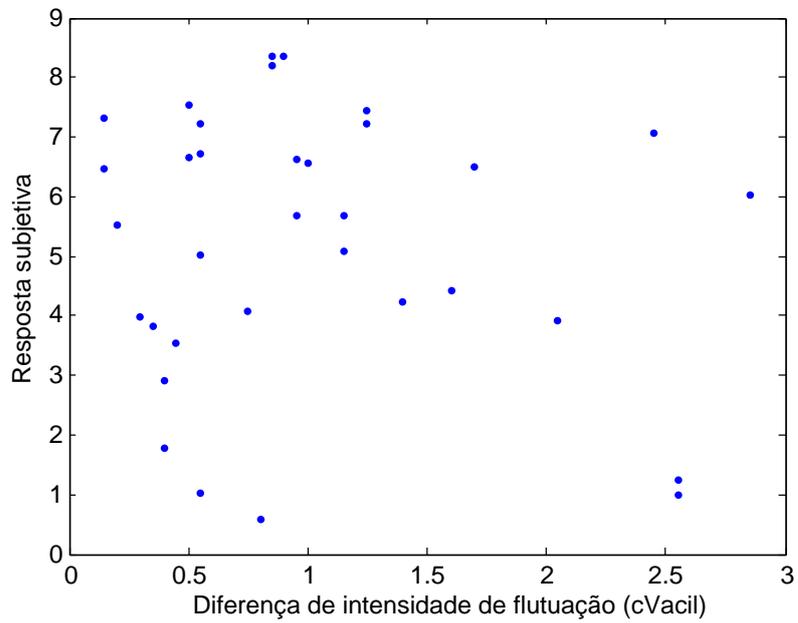


Figura 3.24: Relação entre a diferença de intensidade de flutuação entre os sons de cada par e a média das respostas subjetivas.

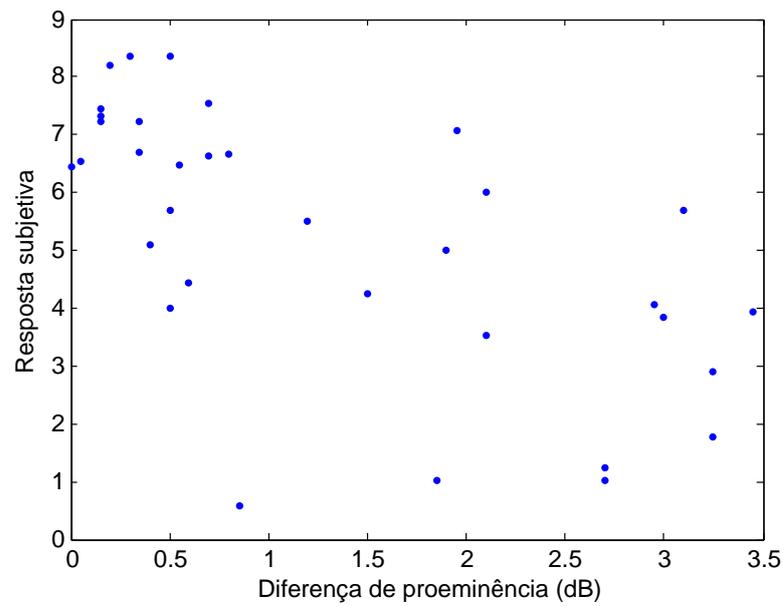


Figura 3.25: Relação entre a diferença de proeminência entre os sons de cada par e a média das respostas subjetivas.

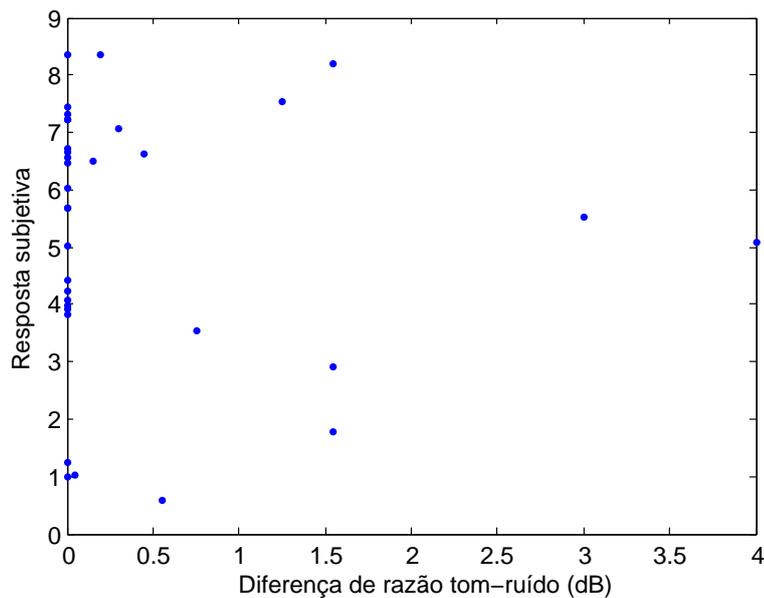


Figura 3.26: Relação entre a diferença de razão tom-ruído entre os sons de cada par e a média das respostas subjetivas.

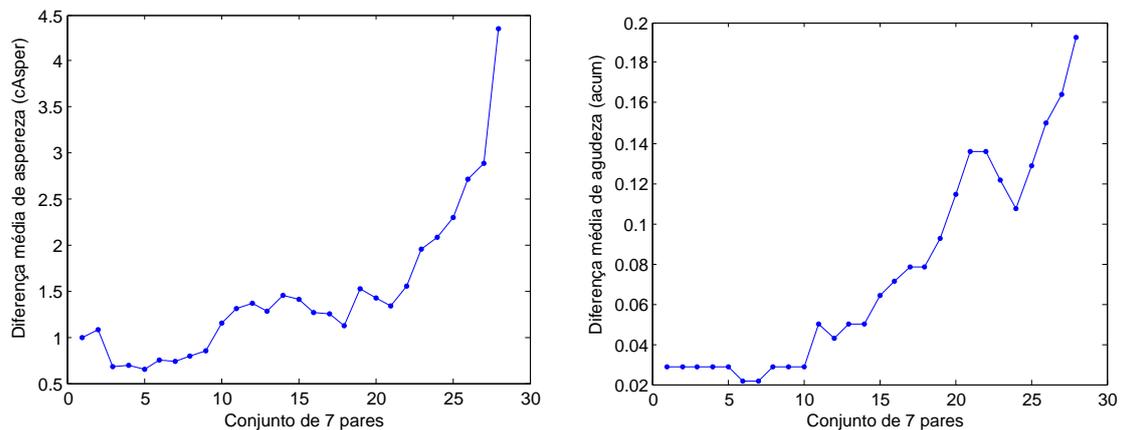
### 3.9.2 Análise dos comentários dos sujeitos

Todos os comentários escritos pelos sujeitos encontram-se no Apêndice E (página 159). Em geral, eles não o faziam. As Tabelas 3.12 e 3.13 apresentam um resumo e a análise dos comentários.

Em muitos dos pares, os sujeitos faziam referências ao “volume”, ao “nível”, ou diziam que algum som do par era mais “alto” ou mais “baixo”. Quando isso ocorria, havia uma diferença de *loudness* de pelo menos 3 soneGD entre os sons do par. Muitos dos comentários referiam-se a algum som do par que fosse mais “grave”, “abafado” ou “agudo” que o outro e, em geral, esses comentários concordavam com o valor da agudeza, ou seja, sons considerados mais “agudos” realmente tinham um maior valor de agudeza. Também muitos dos comentários referiam-se a “componentes tonais” e, nesses casos, a razão tom-ruído apontava essa tonalidade. Nos comentários gerais, também havia referências a diferenças de intensidade e nível; som “abafado”, “agudo” e “zumbido”.

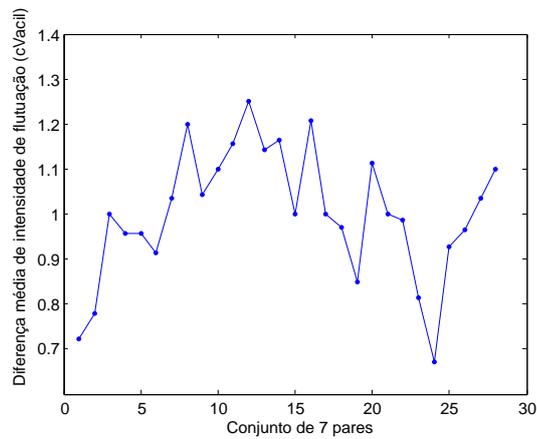
Por essa análise, pode-se tirar que o *loudness*, a agudeza e a razão tom-ruído são métricas importantes na caracterização do ruído do sistema de CAVA.

Em conversa com os sujeitos, muitos disseram que uma das dificuldades da avaliação era definir os critérios para determinar o grau de diferença entre os sons, já que vários atributos podem ser considerados. A mesma dificuldade em testes de similaridade foi



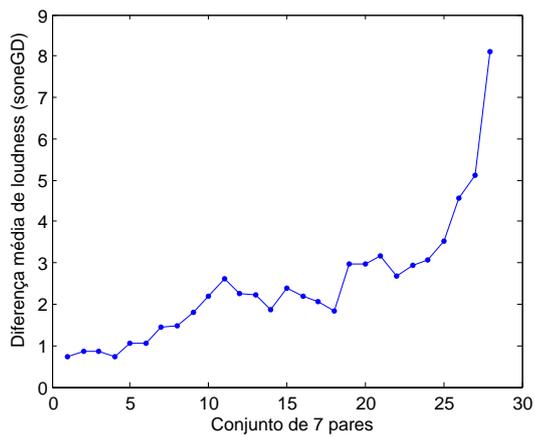
(a)

(b)

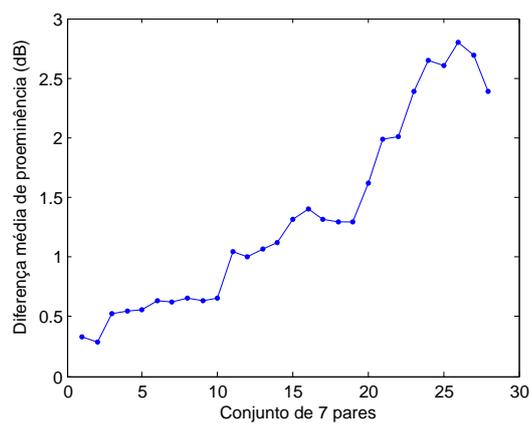


(c)

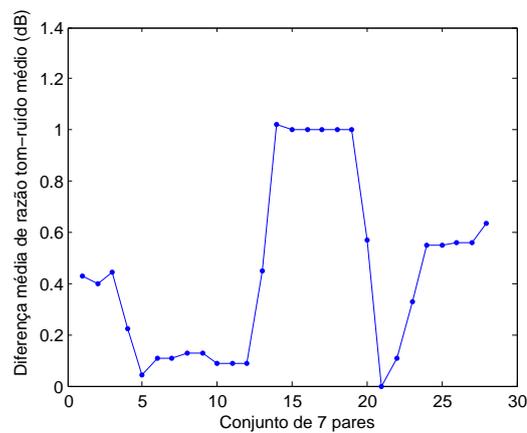
Figura 3.27: Diferença média de (a) aspereza, (b) agudeza e (c) intensidade de flutuação entre os pares de cada conjunto. No eixo das abscissas estão 28 conjuntos de 7 pares. O primeiro conjunto é formado pelos 7 pares de maior pontuação. O segundo é formado pelos 7 pares de maior pontuação, excluindo-se o primeiro. O terceiro é formado pelos 7 pares de maior pontuação, excluindo-se o primeiro e o segundo, e assim por diante. O vigésimo oitavo é formado pelos 7 pares de menor pontuação.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.28: Diferença média de (a) *loudness*, (b) proeminência e (c) razão tom-ruído entre os pares de cada conjunto. No eixo das abscissas estão 28 conjuntos de 7 pares. O primeiro conjunto é formado pelos 7 pares de maior pontuação. O segundo é formado pelos 7 pares de maior pontuação, excluindo-se o primeiro. O terceiro é formado pelos 7 pares de maior pontuação, excluindo-se o primeiro e o segundo, e assim por diante. O vigésimo oitavo é formado pelos 7 pares de menor pontuação.

apontada por Ilmonemi, Välimäki e Huotilainen (2004).

### 3.9.3 Regressão linear múltipla

Na regressão linear múltipla, tem-se  $k$  regressores e  $n$  observações. O modelo que relaciona a resposta  $y_i$  aos regressores pode ser escrito conforme a Equação (3.1), ou na forma matricial, conforme a Equação (3.2) ou a (3.3), onde  $\mathbf{y}$  é o vetor das observações,  $\mathbf{X}$  é a matriz das variáveis independentes,  $\beta$  é o vetor dos coeficientes de regressão e  $\epsilon$  é o vetor dos erros aleatórios [Montgomery e Runger,2003].

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i \quad (3.1)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\beta + \epsilon \quad (3.3)$$

O estimador de mínimos quadrados  $\hat{\beta} = [\hat{\beta}_0 \ \hat{\beta}_1 \ \dots \ \hat{\beta}_k]'$  pode ser obtido pela Equação (3.4).

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (3.4)$$

Então, com  $\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{X}\hat{\beta}$ , pode-se prever  $\mathbf{y}$ .

Uma forma de se medir a adequação do modelo é usando o coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ). Montgomery e Runger (2003) mostram como calculá-lo. Tem-se que  $0 \leq R^2 \leq 1$ . Quanto mais perto  $R^2$  for de 1, mais adequado é o modelo.

“Entretanto, um valor grande de  $R^2$  não implica necessariamente que o modelo de regressão seja bom. A adição de uma variável ao modelo sempre aumentará  $R^2$ , independente da variável adicional ser ou não estatisticamente significativa. Assim, modelos que tenham valores grandes de  $R^2$  podem resultar de previsões pobres de novas observações ou estimativas da resposta média.”<sup>10</sup>

<sup>10</sup>In: Montgomery e Runger (2003), p. 247.

Tabela 3.12: Comentários feitos pelos sujeitos dos pares 1 ao 15 e as suas respectivas análises

Par	Resumo dos comentários	Análise
1	“O segundo parecia ser mais alto”	O segundo som tem um maior valor de <i>loudness</i> (3 soneGD a mais)
2	O segundo som teria uma “componente tonal”, “harmônico” e seria mais alto	A componente tonal é facilmente reconhecida por quem tem o ouvido treinado. O razão tom-ruído também aponta, pois tem um valor diferente de zero no lado direito do segundo som
3	O segundo som seria mais “abafado”	A agudeza é igual em ambos os sons. Porém, a frequência mais proeminente é bem mais alta no primeiro som (1370 Hz no lado esquerdo e 9825 Hz no lado direito) que no segundo (223 Hz em ambos os lados)
5	O segundo som seria “mais rico em frequências altas”	A agudeza do segundo som é menor. Na verdade, olhando-se os gráficos de <i>loudness</i> pela frequência de ambos os sons (não mostrados neste trabalho), vê-se que o segundo som tem um pouco mais de graves
6	O primeiro seria mais agudo que o segundo	De fato, o primeiro tem um maior valor de agudeza
8	“Varia somente o volume”	O <i>loudness</i> varia 3,5 soneGD entre os sons
9	O segundo som teria um volume menor	O segundo som tem 3,35 soneGD a menos que o primeiro
10	O segundo som teria uma “componente tonal” e seria mais “aberto”	O segundo som, no lado direito, tem a razão tom-ruído igual a 2,9 dB, e o primeiro igual a 0 dB. No lado esquerdo, a razão tom-ruído é igual a 0 e -3,1, respectivamente
11	O segundo som teria um pouco de ênfase em frequências altas e mais volume	O segundo som tem 2,85 soneGD a mais que o primeiro, mas a agudeza é igual
12	O segundo som seria mais grave e baixo que o primeiro	O segundo som tem um maior valor de <i>loudness</i> , mas a agudeza é igual. Como dito na Seção 3.6, esses comentários entram em conflito com os do par 24, que é igual ao 12
14	O primeiro som teria mais graves e o segundo mais médios	O valor de agudeza do segundo som é maior. O primeiro som realmente tem mais graves, olhando pela curva de <i>loudness</i> , e o segundo tem um pouco mais de agudos
15	“Mesmo nível, espectro pouco diferente”	Realmente, há pouca diferença no <i>loudness</i> dos dois sons (0,5 soneGD)

Tabela 3.13: Comentários feitos pelos sujeitos dos pares 17 ao 34 e as suas respectivas análises

Par	Resumo dos comentários	Análise
17	O primeiro seria mais agudo, e o segundo teria “aleatoriedade mais rápida”	O primeiro realmente tem um maior valor de agudeza. Quanto à “aleatoriedade”, supôs-se que ela tinha a ver com as modulações, porém o gráfico da modulação pela frequência é igual para os dois sons
18	O segundo seria mais agudo	O segundo tem um maior valor de agudeza
20	O segundo seria mais agudo e também parecia “ser produzido em um encanamento mais estreito”	O segundo tem um maior valor de agudeza
21	“Níveis baixos”	Este par pertence ao grupo 3, que tem o <i>loudness</i> mais baixo que a maioria dos outros sons
22	Os sons teriam níveis diferentes e o segundo som teria “uma componente a mais”	Há pouca diferença de <i>loudness</i> entre os sons (0,45 soneGD), e a razão tom-ruído é maior no segundo som
23	Níveis diferentes	O segundo som tem 8,5 soneGD a menos que o primeiro
24	O primeiro seria mais agudo	Não há diferença de agudeza
25	O segundo som teria um maior volume	O segundo som tem 1,5 soneGD a mais
26	O segundo som teria uma vibração, zumbido, “algum componente diferente”	No segundo som há um pouco de <i>rattle</i> (a faixa de 5000 Hz sendo modulada por 40 Hz), também há uma componente tonal (razão tom-ruído = 0,3 dB no lado direito)
27	O segundo som teria o nível bem mais baixo	O segundo som tem 15,95 soneGD a menos que o primeiro
28	O primeiro som seria mais agudo	O primeiro som tem um maior valor de agudeza
29	O primeiro som seria mais grave	O primeiro som tem um menor valor de agudeza
30	O segundo som teria um zumbido	A razão tom-ruído do segundo som é 0,4 dB
31	O segundo teria o nível mais baixo, o “volume” seria diferente	O segundo som tem 22,55 soneGD a menos que o primeiro
32	O segundo som teria o nível mais alto, seria mais “áspero”	O segundo som tem maior <i>loudness</i> (3,05 soneGD) e maior aspereza
33	O segundo som seria mais “abafado”	O segundo som tem um menor valor de agudeza
34	O segundo som seria mais “aberto”	Como dito na Seção 3.6, há um conflito com os comentários feitos em relação ao par 3

Howell (1992) aponta que é um erro comum tratar a magnitude de cada coeficiente do vetor  $\beta$  como um índice da importância relativa da variável independente associada a ele. Este vetor teria apenas uma utilidade limitada como medida de importância. Isso ocorre porque os regressores, em geral, estão correlacionados entre si, e, nesse caso, os valores de  $\beta$  mudam muito de amostra para amostra, mesmo que  $R^2$  se mantenha constante.

O vetor  $\beta$  e o coeficiente  $R$  são medidas legítimas independentes de quaisquer suposições da distribuição dos dados. Entretanto, para se aplicar testes estatísticos referentes à regressão, se o conjunto  $\mathbf{X}$  for de variáveis aleatórias (claro, excluindo-se a coluna de 1's da matriz), então a distribuição conjunta de  $\mathbf{Y}$  e  $\mathbf{X}$  precisa ser normal [Howell, 1992].

Numa regressão, é necessário verificar a presença de *outliers*<sup>11</sup>. Uma maneira de se fazer isso é calculando-se o D de Cook<sup>12</sup>. Cada ponto da regressão terá, associado a ele, um valor de D. Em geral, considera-se que o ponto é um *outlier* quando  $D > 1$ .

### 3.9.3.1 Cálculo das variáveis para a regressão linear múltipla

Na Seção 3.2 falou-se das métricas calculadas para cada som. Agora, será calculado um conjunto de variáveis para cada par. Como o teste subjetivo é para avaliar a diferença ou igualdade entre os sons, calculou-se o módulo da diferença das métricas entre os sons de cada par. Por exemplo, no par 8, o *loudness* do primeiro som é 26,75 soneGD, e o do segundo é 23,25 soneGD. Assim,  $\Delta loudness = |23,25 - 26,75| = 3,5$  soneGD. Da mesma forma, se calculou o módulo da diferença da agudeza ( $\Delta agudeza$ ); o módulo da diferença da intensidade de flutuação ( $\Delta if$ ); o módulo da diferença da aspereza ( $\Delta aspereza$ ); o módulo da diferença da razão tom-ruído ( $\Delta rtr$ ); o módulo da diferença da proeminência ( $\Delta proem$ ) e o módulo da diferença da frequência mais proeminente ( $\Delta fp$ ).

Para se investigar se a composição espectral poderia influenciar na percepção da diferença, além de se trabalhar com a variável  $\Delta agudeza$ , dividiu-se o espectro do *loudness* em várias bandas. A Figura 3.29 mostra um típico espectro para o modelo do sistema de CAVA em estudo. Optou-se por dividir o espectro nos pontos em que há grandes mudanças de amplitude<sup>13</sup>. Assim, ele foi dividido em seis bandas: a região I vai de zero a 1,0 bark; a II vai de 1,1 a 2,9 bark; a III vai de 3,0 a 5,4 bark; a IV vai de 5,5 a 9,4 bark; a V vai de 9,5 a 13,9 bark; e a VI vai de 14,0 a 24,0 bark. Para cada uma dessas regiões, tirou-se a média das amplitudes e, posteriormente, calculou-se o módulo da diferença de

<sup>11</sup>Um *outlier* é um ponto fora da curva, ou fora da aglomeração de pontos.

<sup>12</sup>Em inglês, *Cook's D*.

<sup>13</sup>Esta opção foi feita pelo pesquisador, não sendo, portanto, algo tirado da literatura sobre o assunto.

cada região entre os dois sons de cada par. As variáveis resultantes foram denominadas de  $\Delta loud_I$ ,  $\Delta loud_{II}$ ,  $\Delta loud_{III}$ ,  $\Delta loud_{IV}$ ,  $\Delta loud_V$  e  $\Delta loud_{VI}$ .

Os valores das variáveis, para todos os pares, estão mostrados no Apêndice F (página 163), e entrarão como  $\mathbf{X}$  na Equação (3.4).

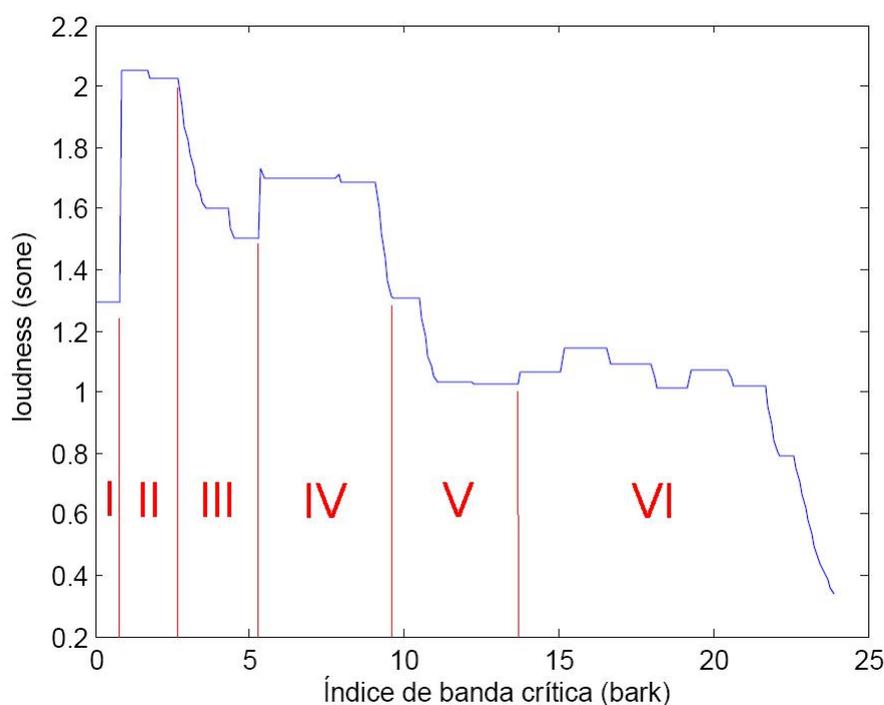


Figura 3.29: A divisão do espectro de *loudness* em seis bandas, para a criação das variáveis  $\Delta loud_I$ ,  $\Delta loud_{II}$ ,  $\Delta loud_{III}$ ,  $\Delta loud_{IV}$ ,  $\Delta loud_V$  e  $\Delta loud_{VI}$ .

### 3.9.3.2 Aplicação da regressão linear múltipla a todos os pares

O objetivo desta seção é chegar a uma equação que relacione as métricas objetivas dos pares às respostas dos sujeitos. O método escolhido foi o da regressão por etapas<sup>14</sup>, e foi utilizado um programa comercial para a aplicação do método. Entretanto, o método não foi aplicado de forma cega. Por exemplo, para a construção da Equação (3.5), os números indicavam que  $\Delta asperesa$  deveria entrar no modelo e, como  $\Delta asperesa$  e  $\Delta loudness$  têm alta correlação ( $R^2 = 0,86$ ),  $\Delta loudness$  ficaria de fora. Porém, analisando-se os comentários dos sujeitos, em que o “volume” ou “nível” é sempre apontado como critério,

<sup>14</sup>Em inglês, *stepwise regression*. A regressão por etapas é um método utilizado na regressão linear múltipla para a construção de uma equação. Resumidamente: começa-se com a variável  $x_1$  que tem a maior correlação com a resposta  $y$ . Em seguida, acrescenta-se a variável  $x_2$  que produz o maior acréscimo em  $R^2$ . Deve-se então testar se o acréscimo em  $R^2$  foi significativo, caso contrário, retira-se  $x_2$ . Então procura-se pela variável  $x_3$  que produza o maior acréscimo em  $R^2$  e testa-se se ele é significativo. Se for, deve-se testar também se  $x_1$  ou  $x_2$  devem permanecer no modelo. Termina-se quando não houver mais variáveis cuja inclusão aumente  $R^2$  significativamente.

preferiu-se usar  $\Delta loudness$ . Outras possibilidades também foram testadas, além daquelas que a regressão por etapas apontaria.

A matriz  $\mathbf{X}$  será formada pelas variáveis calculadas na Seção 3.9.3.1. Serão feitas duas regressões: a primeira contendo apenas as variáveis  $\Delta loudness$ ,  $\Delta agudeza$ ,  $\Delta if$ ,  $\Delta aspereza$ ,  $\Delta rtr$  e  $\Delta proem$ ; a segunda conterà também  $\Delta loud_I$ ,  $\Delta loud_{II}$ ,  $\Delta loud_{III}$ ,  $\Delta loud_{IV}$ ,  $\Delta loud_V$  e  $\Delta loud_{VI}$ . O vetor  $\mathbf{y}$  será formado pelas respostas subjetivas, conforme a Tabela 3.8 (página 61).

Na primeira regressão, começa-se com a variável  $\Delta agudeza$ , por ter o maior valor de  $R^2$ . Em seguida, acrescenta-se  $\Delta proem$ , pois é a variável que mais aumenta o valor de  $R^2$ . Depois, acrescenta-se  $\Delta loudness$ , mas, ao se fazer isso, o coeficiente da matriz  $\beta$  associado a  $\Delta agudeza$  não é mais significativamente diferente de zero e, portanto,  $\Delta agudeza$  é removido do modelo. O resultado pode ser visto na Equação (3.5), com  $R^2 = 0,73$ . A Figura 3.30 mostra um gráfico que compara a resposta subjetiva com a previsão dessa resposta pela Equação (3.5). Esse gráfico mostra as respostas subjetivas no eixo das abscissas e a previsão dessa resposta no eixo das ordenadas. A reta indica os casos em que as respostas do modelo são iguais às respostas subjetivas.

$$y = 7,5893 - 0,2832 \cdot \Delta loudness - 1,1145 \cdot \Delta proem \quad (3.5)$$

onde:

$y$  é a previsão da resposta subjetiva.

Quando se utilizam todas as variáveis disponíveis, dois modelos são apropriados. O primeiro é composto por  $\Delta loudness$ ,  $\Delta agudeza$ ,  $\Delta rtr$ ,  $\Delta proem$  e  $\Delta fp$ , resultando em  $R^2 = 0,84$ . No segundo, substitui-se o  $\Delta loudness$  e a  $\Delta agudeza$  por  $\Delta loud_{VI}$ , resultando em  $R^2 = 0,85$ . Essa substituição é possível porque  $\Delta loudness$  e  $\Delta loud_{VI}$  têm alta correlação ( $R^2 = 0,87$ ), e  $\Delta agudeza$  e  $\Delta loud_{VI}$  também têm boa correlação ( $R^2 = 0,69$ ). É interessante notar que, caso se deseje utilizar  $\Delta loud_I$ ,  $\Delta loud_{II}$  ou  $\Delta loud_{III}$  como variáveis, ao invés de  $\Delta loud_{VI}$ , para se ter uma boa correlação será necessário acrescentar também  $\Delta agudeza$ . Isso indica que  $\Delta loud_{VI}$  consegue representar tanto  $\Delta loudness$  quanto  $\Delta agudeza$ , mas  $\Delta loud_I$ ,  $\Delta loud_{II}$  e  $\Delta loud_{III}$  não, talvez por estarem relacionados às regiões de graves e médios do espectro, enquanto que  $\Delta loud_{VI}$  está relacionado aos agudos.

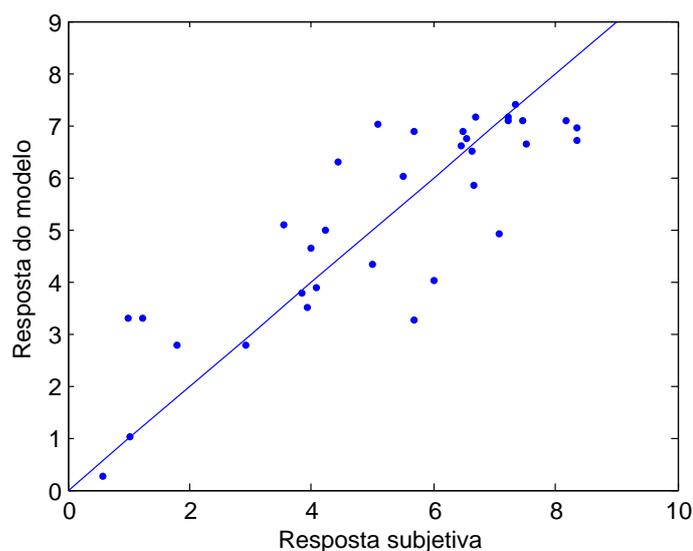


Figura 3.30: Comparação entre as respostas subjetivas e a previsão dessas respostas pela Equação (3.5).

Para os dois modelos, calculou-se o D de Cook<sup>15</sup>. No primeiro, detectaram-se os pares 27 e 31 como *outliers*. Esses são os pares em que o  $\Delta loudness$  é maior, assim, o *leverage*<sup>16</sup> deles é mais alto que o dos outros pares. Quando esses pares foram retirados do modelo, o valor do coeficiente de determinação múltipla  $R^2$  praticamente não se alterou. Assim, os pares 27 e 31 também foram usados, resultando na Equação (3.6), com  $R^2 = 0,84$ . A Figura 3.31 mostra um gráfico que compara a resposta subjetiva com a previsão dessa resposta pela Equação (3.6). De fato, olhando-se o par 31 (o que tem a menor resposta subjetiva), vê-se que ele não se distancia muito da reta, o que justifica a sua permanência no modelo. O mesmo ocorre com o par 27. Nas regressões que se seguem, nenhum par foi considerado *outlier*.

$$y = 8,4688 - 0,1724 \cdot \Delta loudness - 12,0657 \cdot \Delta agudeza - 0,5761 \cdot \Delta rtr - 0,7265 \cdot \Delta proem - 0,0003 \cdot \Delta fp \quad (3.6)$$

A Equação (3.7) mostra o segundo modelo, que tem  $R^2 = 0,85$ . A Figura 3.32 mostra um gráfico que compara a resposta subjetiva com a previsão dessa resposta pela Equação (3.7).

<sup>15</sup>Uma breve explicação sobre o D de Cook pode ser vista na Seção 3.9.3 (página 75). Para mais detalhes, recomenda-se consultar Howell (1992).

<sup>16</sup>O *leverage* identifica *outliers* nas variáveis independentes ( $X_1, X_2, \dots, X_p$ ). De fato, o  $\Delta loudness$  dos pares 27 e 31 é muito maior que o dos outros pares.

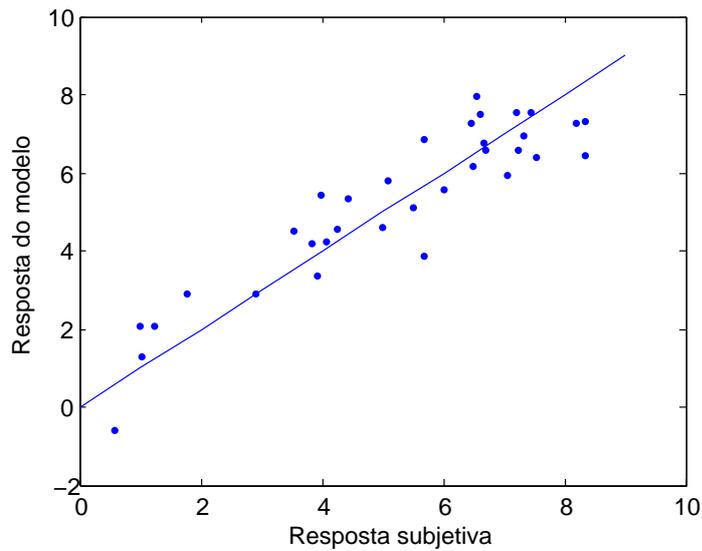


Figura 3.31: Comparação entre as respostas subjetivas e a previsão dessas respostas pela Equação (3.6).

$$y = 8,2570 - 0,4506 \cdot \Delta rtr - 0,9707 \cdot \Delta proem - 0,0002 \cdot \Delta fp - 9,4193 \cdot \Delta loud_{vI} \quad (3.7)$$

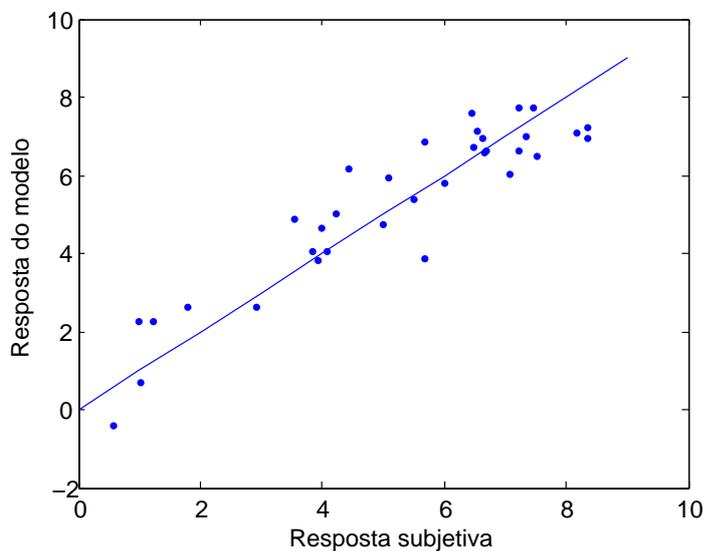


Figura 3.32: Comparação entre as respostas subjetivas e a previsão dessas respostas pela Equação (3.7).

### 3.9.3.3 Aplicação da regressão linear múltipla aos pares dos grupos 1 e 2

Como os pares do grupo 1 e 2 são ambos da quarta velocidade de ventilação e têm os valores de *loudness* próximos, se comparados aos outros grupos, decidiu-se analisá-los

em conjunto. Usando-se uma única variável,  $\Delta agudeza$ , consegue-se uma boa correlação:  $R^2 = 0,91$ . O valor de  $R^2$  pode ser melhorado, se, por exemplo, acrescentar-se  $\Delta if$ , mas o coeficiente associado a esta variável teria um valor positivo, o que não é razoável, já que maiores diferenças na flutuação deveriam levar o som a ser considerado mais diferente e não o oposto. Além disso, as Figuras 3.24 e 3.27 (c) apontam que, neste estudo, a intensidade de flutuação não influencia a percepção de diferença entre os sons. A Equação (3.8) mostra o resultado desta regressão (utilizando apenas a variável  $\Delta agudeza$ ). A Figura 3.33 mostra um gráfico que compara a resposta subjetiva com a previsão dessa resposta pela Equação (3.8).

$$y = 8,4124 - 24,7522 \cdot \Delta agudeza \tag{3.8}$$

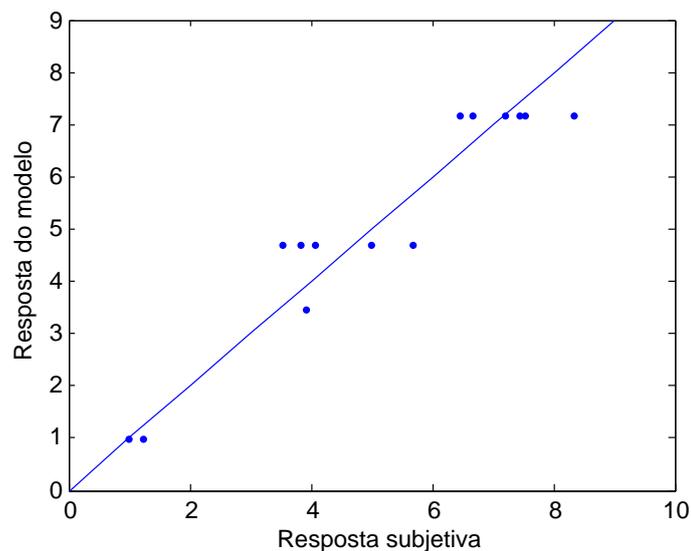


Figura 3.33: Comparação entre as respostas subjetivas dos grupos 1 e 2 e a previsão dessas respostas pela Equação (3.8).

### 3.9.3.4 Aplicação da regressão linear múltipla aos pares dos grupos 3 e 4

Assim como se fez com os grupos 1 e 2, os grupos 3 e 4 serão analisados em conjunto, por serem ambos da segunda velocidade de ventilação. Mas, ao contrário do que acontece com os grupos 1 e 2, a variável  $\Delta agudeza$  não se correlaciona com as respostas subjetivas dos grupos 3 e 4 ( $R^2 = 0,2$ ). A equação a que se chega é a (3.9), com  $R^2 = 0,85$ , que utiliza as variáveis  $\Delta loud_{III}$  e  $\Delta loud_V$ . A Figura 3.34 mostra um gráfico que compara a resposta subjetiva com a previsão dessa resposta pela Equação (3.9).

$$y = 7,7657 - 9,7562 \cdot \Delta loud_{III} - 17,714 \cdot \Delta loud_V \quad (3.9)$$

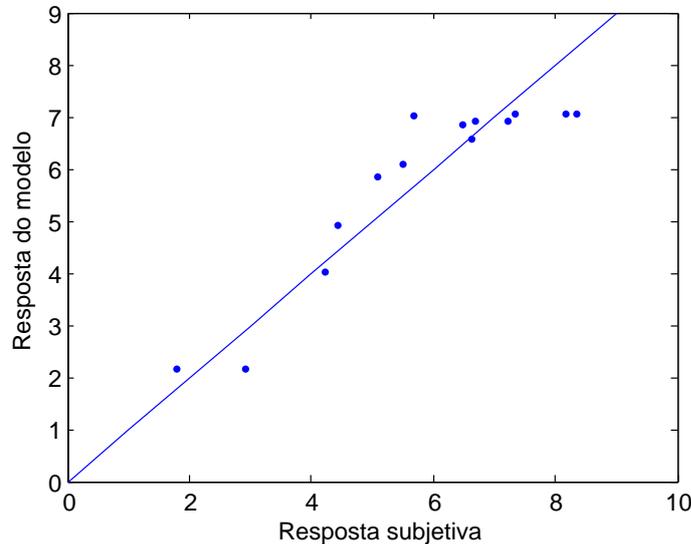


Figura 3.34: Comparação entre as respostas subjetivas dos grupos 3 e 4 e a previsão dessas respostas pela Equação (3.9).

### 3.9.3.5 Aplicação da regressão linear múltipla aos pares do grupo 5

Quando se aplica a regressão apenas aos pares do grupo 5, chega-se ao modelo da Equação (3.10), com  $R^2 = 0,95$ . A Figura 3.35 mostra um gráfico que compara a resposta subjetiva com a previsão dessa resposta pela Equação (3.10).

$$y = 7,3240 - 0,3340 \cdot \Delta loudness \quad (3.10)$$

### 3.9.3.6 Predição de novas observações

A regressão é capaz de gerar equações que se ajustam muito bem aos dados, isso não quer dizer, porém, que ela será boa para prever o resultado de novas observações (ou avaliações subjetivas, no caso da qualidade sonora). Caso se tenha como variáveis independentes  $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0k}$ , então  $\mathbf{x}'_0 = [1, x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0k}]$ , e a estimativa  $\hat{y}_0$  de  $y_0$  será dada pela Equação (3.11).

$$\hat{y}_0 = \mathbf{x}'_0 \cdot \hat{\beta} \quad (3.11)$$

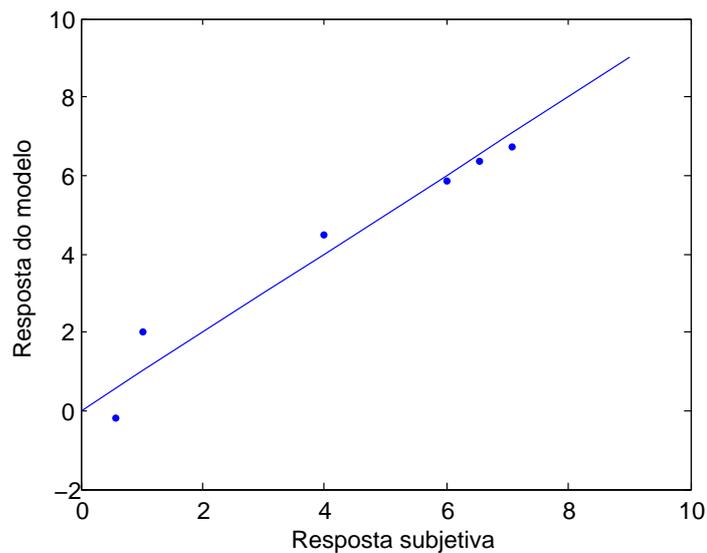


Figura 3.35: Comparação entre as respostas subjetivas do grupo 5 e a previsão dessas respostas pela Equação (3.10).

Montgomery e Runger (2003) apresentam um intervalo de previsão de  $100(1 - \alpha)\%$  para  $y_0$ , mostrado na Equação (3.12).

$$\hat{y}_0 - t_{\alpha/2, n-p} \sqrt{\hat{\sigma}^2 (1 + \mathbf{x}_0' (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{x}_0)} \leq y_0 \leq \hat{y}_0 + t_{\alpha/2, n-p} \sqrt{\hat{\sigma}^2 (1 + \mathbf{x}_0' (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{x}_0)} \quad (3.12)$$

onde:

$t_{\alpha/2, n-p}$  é o ponto percentual da distribuição  $t$ , com nível de significância de  $\alpha/2$  e  $n - p$  graus de liberdade;

$n$  é o número de observações;

$p$  é a quantidade de elementos do vetor  $\hat{\beta}$ ;

$\hat{\sigma}^2$  é a média quadrática residual, dada pela Equação (3.13).

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p} \quad (3.13)$$

onde:

$y_i$  e  $\hat{y}_i$  são os elementos de  $y_0$  e  $\hat{y}_0$ , respectivamente.

Os três pares utilizados no Treinamento não entraram na regressão, por isso eles foram utilizados para verificar se as Equações (3.5), (3.6), (3.7), (3.8), (3.9) e (3.10) conseguem razoavelmente prever a resposta subjetiva desses pares. Dessa forma, para os 3 pares do Treinamento, foram calculados os valores das variáveis conforme explicado na Seção 3.9.3.1, e os resultados da previsão das respostas subjetivas estão apresentados nas Tabelas 3.14, para o par Treinamento 1; 3.15, para o par Treinamento 2; e 3.16, para o par Treinamento 3. Também nestas tabelas estão os valores máximo e mínimo do intervalo de previsão de 95%.

Os intervalos de previsão são grandes, chegando até a 5,9 pontos, ou 59% da escala, como se pode observar na Tabela 3.16, Equação (3.5). Além disso, alguns valores previstos dão como resposta valores negativos, sendo que a escala utilizava apenas valores entre zero e dez. As Equações (3.6) e (3.7) foram as que resultaram em valores mais próximos da resposta subjetiva. A resposta subjetiva do Treinamento 1 está fora do intervalo de previsão da Equação (3.8); a resposta subjetiva do Treinamento 2 está fora do intervalo de previsão da Equação (3.9) e da Equação (3.10); e a resposta subjetiva do Treinamento 3 está fora do intervalo de previsão da Equação (3.10), o que significa que essas equações não estão prevendo satisfatoriamente esses pares.

### 3.10 Conclusões parciais

Para se modelar a percepção de diferença entre dois ruídos do sistema de CAVA, as métricas psicoacústicas mais importantes são o *loudness*, a agudeza, a razão tom-ruído e a proeminência. Os resultados indicam que, quando a diferença de *loudness* é grande, ele se torna o fator mais importante. Como mostram as Tabelas 3.12 e 3.13 (páginas 76 e 77, respectivamente), os sujeitos faziam comentários referentes à diferença de volume quando a diferença de *loudness* era de pelo menos 3 soneGD. A importância do *loudness* fica evidente também no resultado das regressões: a variável  $\Delta\text{loudness}$  está presente na maioria das equações geradas (Equações (3.5), (3.6) e (3.10)). Já as Equações (3.7) e (3.9) são compostas por variáveis derivadas do espectro do *loudness*.

Quando a diferença de *loudness* for suficientemente grande, ele se torna o único fator na percepção de diferença, como mostra a Equação (3.10), formulada apenas com os pares do grupo 5. Alguns comentários dos sujeitos também sugerem que, quando a diferença de *loudness* é grande, mesmo que ele considere que os sons comparados tenham o espectro parecido, ele os considerará pouco parecidos por causa da diferença de *loudness*.

Tabela 3.14: Previsão das respostas subjetivas do par Treinamento 1 e os valores mínimo e máximo do intervalo de predição. A Equação (3.9), por ter sido derivada apenas dos grupos 3 e 4, não é adequada para prever o Treinamento 1, que possui sons do grupo 1. Na última linha, a resposta subjetiva, para comparação.

Equação	Mínimo	Previsão	Máximo
(3.5)	4,7	<b>7,2</b>	9,8
(3.6)	4,9	<b>7,0</b>	9,1
(3.7)	5,7	<b>7,7</b>	9,7
(3.8)	5,0	<b>5,9</b>	6,9
(3.9)	—	—	—
(3.10)	6,5	<b>7,1</b>	7,7
<b>Resposta subjetiva</b>	<b>7,3</b>		

Tabela 3.15: Previsão das respostas subjetivas do par Treinamento 2 e os valores mínimo e máximo do intervalo de predição. A Equação (3.8), por ter sido derivada apenas dos grupos 1 e 2, não é adequada para prever o Treinamento 2, que possui sons do grupo 4. Na última linha, a resposta subjetiva, para comparação.

Equação	Mínimo	Previsão	Máximo
(3.5)	3,7	<b>6,2</b>	8,7
(3.6)	2,4	<b>5,0</b>	7,5
(3.7)	2,5	<b>4,9</b>	7,3
(3.8)	—	—	—
(3.9)	4,8	<b>5,8</b>	6,9
(3.10)	6,5	<b>7,1</b>	7,7
<b>Resposta subjetiva</b>	<b>4,5</b>		

Tabela 3.16: Previsão das respostas subjetivas do par Treinamento 3 e os valores mínimo e máximo do intervalo de predição. As Equações (3.8) e (3.9), por terem sido derivadas de grupos com o *loudness* próximos, não é adequada para prever o Treinamento 3, que possui sons com o *loudness* bem diferentes. Na última linha, a resposta subjetiva, para comparação.

Equação	Mínimo	Previsão	Máximo
(3.5)	-4,4	<b>-1,5</b>	1,5
(3.6)	-1,8	<b>0,9</b>	3,7
(3.7)	-2,2	<b>0,0</b>	2,1
(3.8)	—	—	—
(3.9)	—	—	—
(3.10)	2,0	<b>2,6</b>	3,2
<b>Resposta subjetiva</b>	<b>0,4</b>		

Quando a diferença de *loudness* for suficientemente pequena, outros fatores tornam-se importantes na percepção de diferença. A regressão feita apenas com os pares dos grupos 1 e 2, em que todos os sons são da velocidade de ventilação 4, resultou na Equação (3.8), que utiliza somente a variável  $\Delta agudeza$ . Já a regressão feita com os pares dos grupos 3 e 4, em que os sons são da velocidade de ventilação 2, resultou na Equação (3.9), que utiliza as variáveis  $\Delta loud_{III}$  e  $\Delta loud_V$ . Esses resultados sugerem que, havendo pouca diferença de *loudness*, a composição espectral é o fator mais importante, e a importância de cada banda de frequências varia de acordo com o nível de *loudness* dos sons que estão sendo comparados. Entre os sons de *loudness* mais alto (grupos 1 e 2), a agudeza se mostrou uma métrica bem adequada, mas não entre os de *loudness* mais baixo (grupos 3 e 4).

Dividiu-se o *loudness* em seis bandas para investigar se uma relação entre elas se correlacionaria com o resultado subjetivo. Foi a forma encontrada para se levar em consideração a composição espectral, que está relacionada ao timbre. Os resultados, porém, não foram tão satisfatórios. A correlação entre uma e outra banda é muito alta, assim, é desnecessário usar mais que uma delas em uma regressão. É preciso se fazer mais estudos sobre a percepção do timbre deste tipo de som.

O resultado das regressões, a análise dos gráficos e dos comentários dos sujeitos demonstram que a agudeza é uma métrica bastante adequada para a caracterização do ruído do sistema de CAVA. A variável  $\Delta agudeza$  faz parte da Equação (3.6), além de ser a única variável da Equação (3.8), que considera apenas os pares dos grupos 1 e 2.

Um resultado não esperado foi a boa correlação da proeminência com as respostas subjetivas, como demonstram as Equações (3.5), (3.6) e (3.7). Acredita-se que tanto a proeminência quanto a frequência mais proeminente (representadas pelas variáveis  $\Delta proem$  e  $\Delta fp$ , respectivamente) ajudam a caracterizar o timbre — elas indicam “picos” no espectro, que são percebidos, ainda que não identificados. Vale ressaltar que, na maioria dos sons deste estudo, não há tons puros, e que a proeminência só aponta a presença de um tom quando o seu valor for maior que 7 dB.

A variável  $\Delta rtr$  aparece nas Equações (3.6) e (3.7), o que indica que, apesar de a razão tom-ruído não ter uma relação linear com a resposta subjetiva, como mostram as Figuras 3.26 e 3.28 (c), ainda assim é um bom parâmetro para se caracterizar o ruído do sistema de CAVA. Além disso, alguns sujeitos comentaram a presença de componentes tonais em alguns sons, o que justifica a inclusão dessa variável nas equações.

A intensidade de flutuação não se mostrou uma métrica importante na percepção do tipo de ruído em estudo, conforme se pode ver pelas Figuras 3.24 e 3.27 (c). A aspereza,

por ter grande correlação com o *loudness* (entre  $\Delta loudness$  e  $\Delta asperesa$ ,  $R^2 = 0,85$ ), torna-se desnecessária nas equações que modelam a percepção de diferença.

A inclusão dos pares repetidos e dos invertidos revelou haver coerência na média das respostas subjetivas, conforme mostrou a Seção 3.6 (página 61), muito embora grande parte dos sujeitos marque valores bem diferentes na primeira e na segunda apresentação de alguns desses pares. Faltou incluir um par em que os dois sons fossem idênticos, para testar a resposta dos sujeitos.



## *4 Segunda etapa: avaliação subjetiva usando um diferencial semântico*

Neste capítulo, mostra-se como se chegou a uma equação capaz de prever o incômodo causado às pessoas pelo ruído do sistema de CAVA. Para isso, foram feitas novas gravações, agora utilizando-se uma cabeça artificial. Depois de editadas, essas gravações foram usadas numa avaliação subjetiva, a segunda deste trabalho, em que se usou a técnica do diferencial semântico. De posse dos resultados objetivos e dos subjetivos, investigou-se a correlação entre eles, analisando-se gráficos e aplicando-se a regressão linear múltipla.

Na Seção 4.1 fala-se do método usado nas gravações. Na 4.2, da edição dos sons e do cálculo das métricas psicoacústicas.

Na Seção 4.3 fala-se da segunda avaliação subjetiva: de como foi feita a seleção dos sons, usando-se os resultados do Capítulo 3; de como se montou o diferencial semântico; da preparação e dos procedimentos utilizados; do questionário.

Na Seção 4.4 se apresentam os resultados. Análises são feitas da Seção 4.5 à 4.7. Na 4.8, discutem-se os comentários dos sujeitos.

A Seção 4.9 trata da correlação entre os dados subjetivos e as métricas psicoacústicas. Finalmente, as conclusões são apresentadas na Seção 4.11.

### **4.1 Metodologia das gravações**

Na segunda etapa da pesquisa, foram feitas novas gravações do sistema de CAVA, mas desta vez utilizando-se uma cabeça artificial, mostrada na Figura 2.11 (página 18). Foram gravados 12 carros novos, ainda no pátio da montadora, do mesmo modelo do Capítulo 3. Os dados de cada carro encontram-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Dados dos carros gravados para a segunda etapa do trabalho.

	Nº do carro	Sistema de ventilação	Observações
1	016	<i>Ar-condicionado</i>	—
2	017	<i>Ar-condicionado</i>	—
3	018	<i>Ar-condicionado</i>	—
4	019	<i>Ar-condicionado</i>	—
5	020	<i>Ar-condicionado</i>	—
6	021	<i>Ar-condicionado</i>	—
7	022	<i>Ar-condicionado</i>	—
8	023	<i>Simples</i>	—
9	024	<i>Simples</i>	—
10	025	<i>Simples/Aquecimento</i>	havia pássaros piando
11	026	<i>Simples/Aquecimento</i>	—
12	027	<i>Simples/Aquecimento</i>	—

As gravações foram feitas com o carro parado e o motor desligado. **Somente o sistema de ventilação foi gravado, ou seja, o ar condicionado não estava em funcionamento.** O seguinte roteiro foi observado antes das gravações:

- anotaram-se os dados do carro (número, potência do motor, qual o modelo do sistema de ventilação, o número de portas e eventuais observações);
- posicionou-se a cabeça e o torso artificiais no banco do motorista, conforme a Figura 4.1;
- o *notebook* foi posicionado do lado de fora do veículo, conforme a Figura 4.3. Isso evitava que o ruído do *notebook* fosse também gravado;
- calibrou-se o sistema de gravação;
- fecharam-se todas as janelas e portas;
- ajustou-se a posição do assento do motorista, conforme a Figura 3.7 (página 45);
- ajustou-se a direção das saídas de ar (no centro e para baixo, para evitar o barulho do fluxo de ar incidindo sobre os microfones), conforme a Figura 3.5 (página 45);
- todas as válvulas das saídas de ar foram abertas, conforme a Figura 3.5 (página 45);
- caso o carro fosse do modelo *Ar-condicionado* ou do *Simples/Aquecimento*, colocava-se o ajuste do aquecimento no meio, ou seja, entre nenhum aquecimento e aquecimento completo, conforme mostra a Figura 3.6 (página 45). Deve-se lembrar, porém, que o motor estava desligado, e portanto o ar não era aquecido;

- caso o carro fosse do modelo *Ar-condicionado*, verificava-se se o ar-condicionado estava desligado;
- o responsável pelo controle e ajuste do sistema de CAVA sentava-se no banco do carona, conforme a Figura 4.2.

As gravações foram feitas com faixa dinâmica de 100 dB, 24 bits de quantização e frequência de amostragem de 48.000 Hz. Utilizou-se a equalização para campo difuso disponível nas configurações da cabeça artificial. Ligava-se a saída digital da cabeça à placa de som VXpocket v2, da Digigram, que estava instalada no *notebook*. O programa dBSONIC foi utilizado para as gravações.

A calibração foi feita com um calibrador de 114 dB e 1000 Hz. Primeiro calibrou-se apenas a cabeça artificial, através do seu controle remoto. Depois, ajustou-se a faixa dinâmica da cabeça em 120 dB e a equalização linear (L0, na sigla usada pelo fabricante da cabeça). Ajustou-se a faixa dinâmica do dBSONIC em 120 dB. Então, todo o sistema de medição foi calibrado, utilizando essa opção disponível no dBSONIC. No dBSONIC pode-se escolher utilizar ou não a sensibilidade da calibração, clicando-se na opção “Use Sensitivity for Record”. Quando esta opção estava habilitada e a faixa dinâmica era de 120 dB, o nível de pressão sonora (NPS) medido tanto pela cabeça (e visualizado em tempo real no seu controle remoto) quanto pelo dBSONIC era igual, porém, o volume da gravação era muito menor do que o volume real do ruído do sistema de CAVA. Quando se usava a faixa dinâmica de 100 dB, o sinal da gravação saturava. Quando a opção “Use Sensitivity for Record” estava desabilitada e se usava a faixa dinâmica de 100 dB, o volume da gravação tornava-se correto<sup>1</sup>, porém, a medição do NPS feita pelo dBSONIC era cerca de 3 dB menor que a feita pela cabeça artificial. As gravações foram feitas dessa forma pois tinha-se certeza de que o volume que seria tocado para os sujeitos, na avaliação subjetiva, era o mesmo volume do som original. A média do NPS das primeiras gravações, feitas com o NoiseBook e explicadas no Capítulo 3, também é cerca de 3 dB mais alto que a média do NPS das gravações feitas com a cabeça artificial, comparando-se, lógico, gravações feitas no mesmo modelo do sistema de CAVA e mesmas condições de

---

<sup>1</sup>Vários testes foram feitos para se comparar o volume gravado com o volume real do sistema de CAVA. Após se fazer uma gravação com a cabeça, ela era retirada do banco do motorista e sentava-se ali com o fone de ouvido. Ouvia-se tanto o ruído do sistema de CAVA quanto a gravação que tinha acabado de ser feita (ambos, claro, na mesma condição de ventilação). Assim, tinha-se certeza de que o volume do som tocado nos fones de ouvido estava correto. Porém, a resposta em frequência não era exatamente a mesma: ruídos mais agudos, parecidos com um sopro bem fininho, não eram reproduzidos no fone de ouvido. É provável que isso tenha ocorrido por causa da compensação inadequada da resposta do fone de ouvido: utilizou-se uma compensação padrão disponível no dBSONIC, enquanto que o ideal seria medir a resposta daquele fone e fazer uma filtragem específica para ele.



Figura 4.1: Posicionamento da cabeça e torso artificiais dentro do automóvel.



Figura 4.2: Uma pessoa sentava-se no banco do carona para fazer os ajustes no sistema de CAVA.



Figura 4.3: O *notebook* foi posicionado sempre do lado de fora do veículo.

funcionamento. Poder-se-iam utilizar os resultados das gravações com o NoiseBook para calibrar as gravações feitas com o dBSONIC. Isso não foi feito por dois motivos: (1) o NoiseBook grava com uma equalização chamada de ID — Independent of Direction, e a cabeça artificial com uma equalização para campo difuso; (2) as gravações foram feitas em momentos diferentes da linha de produção, e nada garante que a média do NPS deva permanecer constante para todos os lotes de veículos.

## 4.2 Edição dos sons e cálculo das métricas psicoacústicas

Os sons foram editados da mesma forma que na Seção 3.2 (página 46), com a diferença de que foi feito um *fade in* de 60 ms e um *fade out* de 80 ms. Esses valores foram escolhidos subjetivamente pelo pesquisador. Os arquivos eram do tipo *\*.wav*.

Depois, utilizando-se o programa dBSONIC, da 01dB-Metravib, para todos os sons,

calculou-se o *loudness*, a agudeza, a aspereza, a razão tom-ruído e a proeminência, usando-se os mesmos métodos da Seção 3.2 (página 46). O programa apresenta os resultados separadamente para cada canal, esquerdo e direito, mas tirou-se a média entre eles. Os valores das métricas dos sons que participaram da segunda avaliação subjetiva podem ser vistos no Apêndice K (página 189).

Não se calculou a intensidade de flutuação pois ela não se mostrou um fator importante na percepção do tipo de ruído em estudo, de acordo com os resultados obtidos da primeira avaliação subjetiva, feita no Capítulo 3. A aspereza, por estar muito correlacionada com o *loudness*, também não seria necessária, entretando, como será usado o par de adjetivos *suave/áspero* no diferencial semântico (ver Seção 4.3.2, página 96), achou-se necessário calculá-la também.

## 4.3 Segunda avaliação subjetiva

O objetivo da segunda avaliação subjetiva é determinar quais parâmetros psicoacústicos são mais importantes para modelar o incômodo, ou desagradabilidade, causado pelos ruídos do sistema de CAVA. O método escolhido foi o do diferencial semântico<sup>2</sup>.

### 4.3.1 Critérios para a seleção dos sons

Os seguintes critérios foram obedecidos para a seleção dos doze sons desta avaliação subjetiva:

- que não houvesse som de vento incidindo sobre a orelha artificial;
- utilizar sons de todos os tipos de saída de ar existentes e todas as velocidades de ventilação;
- utilizar sons dos três modelos do sistema de CAVA: *Ar-condicionado*, *Simples* e *Simples/Aquecimento*;
- utilizar sons com componentes tonais;
- utilizar sons que seriam considerados bem diferentes pelos sujeitos, de acordo com a Equação (3.6).

---

<sup>2</sup>Sobre diferenciais semânticos, veja a página 28.

Tabela 4.2: Os doze sons escolhidos para a segunda avaliação subjetiva.

Número	Som	Modelo
1	022, <i>Pé/Pára-brisa-1</i>	<i>Ar-condicionado</i>
2	021, <i>Pára-brisa-2</i>	<i>Ar-condicionado</i>
3	027, <i>Pé/Pára-brisa-2</i>	<i>Simples/Aquecimento</i>
4	023, <i>Pé/Pára-brisa-2</i>	<i>Simples</i>
5	020, <i>Frente-2</i>	<i>Ar-condicionado</i>
6	024, <i>Pára-brisa-3</i>	<i>Simples</i>
7	019, <i>Pé/Pára-brisa-3</i>	<i>Ar-condicionado</i>
8	027, <i>Pára-brisa-3</i>	<i>Simples/Aquecimento</i>
9	027, <i>Pé/Pára-brisa-4</i>	<i>Simples/Aquecimento</i>
10	024, <i>Pé-4</i>	<i>Simples</i>
11	020, <i>Frente-4</i>	<i>Ar-condicionado</i>
12	026, <i>Pára-brisa-4</i>	<i>Simples/Aquecimento</i>

A Equação (3.6) foi aplicada para comparar todos os sons de uma determinada velocidade de ventilação<sup>3</sup>. Por exemplo, para a velocidade 2, tinham-se quarenta e oito sons (doze carros e quatro saídas de ar). Aplicou-se a equação para comparar todos os sons entre eles. Depois disso, escolheu-se um grupo de quatro sons que tivessem uma baixa pontuação entre eles, isto é, que o valor calculado pela equação fosse baixo, indicando que os sujeitos provavelmente os classificariam como muito diferentes. Isso foi feito para as velocidades 2, 3 e 4. Assim, escolheu-se um som da velocidade de ventilação 1; quatro da velocidade 2; três da velocidade 3 (não foram achados quatro sons que fossem suficientemente diferentes para a velocidade 3) e quatro da velocidade 4, totalizando doze sons, conforme a Tabela 4.2.

A Tabela 4.5 (página 103) mostra o resultado da aplicação da Equação (3.6) entre os sons escolhidos para a segunda avaliação subjetiva. Note-se que a maioria dos valores de pontuação de similaridade são menores que cinco, o que indica que esses sons seriam considerados como pouco parecidos entre eles.

### 4.3.2 Construção do diferencial semântico

Para a construção do diferencial semântico a ser usado na segunda avaliação subjetiva, precisavam-se coletar palavras que representassem bem o sistema de CAVA.

Isso foi feito aplicando-se um questionário, contendo duas folhas separadas, com per-

<sup>3</sup>Dentre as Equações (3.6) e (3.7), que apresentaram os melhores resultados de predição de novas observações (ver Seção 3.9.3.6, página 84), utilizou-se a Equação (3.6) por ser mais fácil de obter as variáveis necessárias para o seu cálculo. Para se obter a variável  $\Delta loud_{VI}$ , presente na Equação (3.7), devem-se executar vários comandos dentro do dBSONIC e em algum outro programa matemático.

guntas abertas a alguns sujeitos escolhidos de forma aleatória. Na primeira folha, pediam-se algumas informações básicas sobre os sujeitos (idade, sexo, se possuíam carro e quantas vezes por semana dirigiam) e fazia-se a seguinte pergunta:

O que você considera importante no *ruído* do sistema de ventilação e ar-condicionado de um carro?

Depois, eram apresentados, com a ordem aleatória, quatro ruídos do sistema de CAVA, abrangendo todos os modelos e as velocidades de ventilação 2, 3 e 4: 020, *Frente-4* (modelo *Ar-condicionado*); 024, *Frente-4* (modelo *Simples*); 026, *Pé/Pára-brisa-3* (modelo *Simples/Aquecimento*); 025, *Pé-2* (modelo *Ar-condicionado*). Após ouvir esses sons, a segunda folha era entregue aos sujeitos, e eles deveriam responder as seguintes perguntas:

Como você descreveria os ruídos que acabou de escutar?

Quais características você mudaria nos ruídos que lhe foram apresentados?

O sistema montado para a apresentação dos sons é semelhante ao usado na primeira avaliação subjetiva, conforme mostra a Figura 3.9 (página 58), com a diferença de que os arquivos utilizados não eram do tipo *.dat*, e sim *.wav*.

O questionário, que pode ser visto no Apêndice G (página 167), foi aplicado a treze sujeitos com média de idade de 23,7 anos e desvio padrão de 3,1 anos. A maioria deles foi escolhida entre os ouvintes que fazem os ensaios subjetivos de protetores auditivos no Laboratório de Vibrações e Acústica da Universidade Federal de Santa Catarina. A idade mínima é de 17 e a máxima de 28 anos. Participaram sete homens (54% do total) e seis mulheres. Cinco sujeitos (38%) declararam possuir carro. Quatro sujeitos (31%) declararam não dirigir nenhuma vez por semana. Todos tinham o português do Brasil como língua materna.

Foram coletados adjetivos, substantivos e expressões usadas para descrever ou qualificar os sons. A Tabela 4.3 mostra as palavras mais frequentes e o número de vezes que apareceram. As que formam opostos, como *agradável* e *desagradável*, foram colocadas juntas. Na terceira coluna, classificou-as de acordo com a característica do som a que estavam relacionadas (de acordo com o bom senso): **qualidade**, **volume**, **aspereza** ou **composição espectral**.

Tabela 4.3: Palavras coletadas para a segunda avaliação subjetiva.

Palavras	Quantidade de vezes que apareceram	Característica do som a que está relacionada
agradável/desagradável	17	qualidade
silencioso/barulhento	11	volume
baixo/alto	11	volume
incômodo	7	qualidade
suave/áspero	5	aspereza
agudo/grave	4	composição espectral
abafado	4	composição espectral
bom/ruim	3	qualidade
suportável/insuportável	3	qualidade

Assim, para a construção de um diferencial semântico, escolheram-se quatro pares, cada um deles relacionado a uma característica do som: *não-incômodo/incômodo*, *silencioso/barulhento*, *grave/agudo* e *suave/áspero*. Preferiu-se *não-incômodo/incômodo* a *agradável/desagradável* pois, nos testes preliminares, constatou-se que os sujeitos poderiam considerar que nenhum dos sons era agradável e, assim, marcariam na escala sempre próximo a *desagradável*. Para a característica **volume**, preferiu-se *silencioso/barulhento*, já que se usa *alto/baixo* muitas vezes referindo-se a frequências, principalmente no meio musical.

Além desses, um outro par foi adicionado: *não-assobiante/assobiante*, com o objetivo de correlacioná-lo com as métricas de tonalidade (proeminência e razão tom-ruído). Este par foi escolhido após a análise de alguns pares de adjetivos alemães. O diferencial semântico montado está mostrado na Figura 4.4. Entre os adjetivos antônimos, foi usada uma escala com sete níveis de gradação<sup>4</sup> sem advérbios em cada um deles (como, por exemplo: extremamente, muito, pouco, etc., conforme se pode ver na Figura 2.13, página 29)., por causa da equidistância que se deve manter entre os níveis [Guski, 1997].

<sup>4</sup>Osgood, Suci e Tannenbaum (1975, p. 85), justificam o uso de sete níveis de gradação da seguinte forma: “Over a large number of different subjects in many different experiments it has been found that with seven alternatives all of them tend to be used and with roughly, if not exactly, equal frequencies. As part of some early research (...), scales having various intervals were tried out on college students: when more than seven steps were used (...), it was found that all three discriminative positions on each side had much lower frequencies; on the other hand, when only five steps were allowed (...), college students, at least, expressed irritation at being unable to indicate ‘slightly’ as different from ‘quite a bit.’ ”

não-incômodo	<input type="checkbox"/>	incômodo						
silencioso	<input type="checkbox"/>	barulhento						
grave	<input type="checkbox"/>	agudo						
suave	<input type="checkbox"/>	áspero						
não-assobiante	<input type="checkbox"/>	assobiante						

Figura 4.4: O diferencial semântico da segunda avaliação subjetiva.

### 4.3.3 Alguns detalhes da preparação da avaliação

Cada som tinha 5 segundos de duração, com *fade in* de 60 ms e *fade out* de 80 ms. A avaliação foi dividida em três etapas: **Treinamento**, **Conhecendo os sons** e **Avaliação subjetiva**.

No **Treinamento**, dois sons foram apresentados aos sujeitos, conforme mostra a Tabela 4.4. Foi escolhido um som da velocidade de ventilação 2 e outro da 4.

Tabela 4.4: Os sons que foram escolhidos para o **Treinamento**, na ordem em que foram apresentados.

Número	Som	Modelo
1	021, <i>Pára-brisa-2</i>	<i>Ar-condicionado</i>
2	020, <i>Frente-4</i>	<i>Ar-condicionado</i>

Na etapa **Conhecendo os sons**, os quatorze sons que participariam da **Avaliação subjetiva** foram apresentados, seguindo a mesma ordem de apresentação, e com intervalo de 1 segundo entre um e outro.

Na etapa **Avaliação subjetiva**, quatorze sons foram apresentados aos sujeitos: os doze sons da Tabela 4.2, sendo que dois deles foram apresentados duas vezes (o 019, *Pé/Pára-brisa-3* e 024, *Pé-4*). Para evitar que a ordem de apresentação dos sons tivesse grande influência no resultado<sup>5</sup>, foram criadas dez ordens diferentes, que podem ser vistas no Apêndice H (página 171). Para cada uma delas, a ordem dos sons foi determinada por sorteio, mas tomando-se o cuidado de não deixar que o mesmo som fosse apresentado duas vezes seguidas (no caso dos dois sons que se repetiam).

<sup>5</sup>De fato, a ordem de apresentação dos sons pode influenciar bastante o resultado. Por exemplo, um som de *loudness* alto tenderá a ser considerado mais barulhento se for apresentado após um de *loudness* baixo do que após um de *loudness* médio.

#### 4.3.4 Questionário

O questionário, da forma em que foi apresentado aos sujeitos, pode ser visto no Apêndice I (página 173).

A primeira parte do questionário utilizado na segunda avaliação subjetiva, que tinha a intenção de identificar o perfil dos sujeitos, é praticamente idêntica à da primeira avaliação. As mesmas informações são pedidas aos sujeitos: data de realização da avaliação, idade, sexo, experiência em avaliações subjetivas, se trabalha com acústica, se possui carro ou se dirige algum da família. Substituiu-se apenas o trecho em que se pedia para o sujeito detalhar, escrevendo, a área da acústica em que trabalhava. Como a informação mais relevante nesse caso era se o sujeito já tinha trabalhado com psicoacústica ou qualidade sonora, colocou-se a seguinte pergunta:

Caso positivo, você tem experiência em preparação e/ou aplicação de testes subjetivos relacionados à acústica, ou alguma experiência em qualidade sonora?  S  N

Isso foi feito porque os sujeitos, em geral, não gostam de escrever.

A explicação de como seria o teste foi feita da seguinte forma:

A finalidade desta pesquisa é avaliar subjetivamente os sons do **sistema de ventilação de automóveis**. É importante que você seja honesto nas suas respostas. Tenha em mente que não existem respostas certas ou erradas.

No parágrafo anterior, foi utilizada a palavra “pesquisa”, ao invés de “teste”, utilizada no primeiro questionário. Afinal, não é um teste, é uma avaliação, e “teste” pode dar a impressão de que os sujeitos é que estão sendo testados. Além disso, foi destacado “sistema de ventilação de automóveis”, já que, na primeira avaliação, um sujeito demonstrou ter lido rapidamente o questionário e sugeriu que se deveria dizer qual o tipo de som que estava sendo avaliado.

Serão apresentados a você 14 sons, de cinco segundos cada. Após ouvir um desses sons com atenção, você deverá avaliá-lo com base em cinco pares de adjetivos:

- não-incômodo e incômodo
- silencioso e barulhento
- grave e agudo

- suave e áspero
- não-assobiante e assobiante

Os sons devem ser avaliados com uma escala dividida em sete graus, apresentada da seguinte forma:

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Se, por exemplo, você considerar que o som não é nem um pouco incômodo, marque no quadradinho mais próximo de **não-incômodo**:

<b>não-incômodo</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>					
---------------------	-------------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------

Ao contrário, se você considerar que o som é bastante incômodo, marque no quadradinho mais próximo de **incômodo**:

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>					
---------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------------------------	-----------------

Mas se você considerar que o som é incômodo mas não tanto, você pode marcar nos quadradinhos mais próximos do centro:

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>				
---------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------------------------	--------------------------	-----------------

ou:

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>
---------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------

Em geral, quando os sujeitos têm dúvidas de como avaliar o som, marcam no centro da escala. Assim, para não deixá-los mais à vontade de se abster, não se explicou que eles poderiam marcar no quadradinho central.

O mesmo procedimento deverá ser feito com os outros quatro pares de adjetivos.

As informações sobre a possibilidade de repetição de um som e de se fazer comentários são dadas em seguida, e também sobre a duração do teste.

O som poderá ser tocado novamente sempre que você achar necessário. Haverá também um espaço para eventuais comentários que você queira fazer.

A duração deste teste é de cerca de quinze minutos.

A seguir, o texto informa as três etapas que fariam parte do teste:

Este teste terá três etapas:

1. **Treinamento.** Será uma pequena simulação do teste, para que você se familiarize com ele.
2. **Conhecendo os sons.** Os sons que farão parte do teste lhe serão apresentados.
3. **Avaliação subjetiva.** Finalmente, os sons da avaliação subjetiva lhe serão apresentados.

### 4.3.5 Procedimento utilizado

Basicamente, os mesmos procedimentos adotados para a primeira avaliação subjetiva (ver Seção 3.4.4, página 57) também o foram para a segunda. As gravações foram reproduzidas utilizando-se o sistema da Figura 3.9 (página 58), com a diferença de que os arquivos de som estavam no formato *\*.wav*. Foi utilizada a mesma sala e o mesmo carro da primeira avaliação, e naturalmente os mesmos problemas se repetiram<sup>6</sup> (de calor, barulhos externos, etc.). Novamente, os sujeitos eram voluntários e não foram pagos para a realização do teste, além de não terem sido identificados.

Antes da avaliação, era explicado verbalmente aos sujeitos que um som áspero era como o som de uma televisão fora do ar, e um som assobiante era um som que se parecia com um assobio. Após a avaliação, como os sujeitos fazem poucos comentários escritos, eles eram interrogados verbalmente a respeito das dificuldades e do que eles achavam dos pares de adjetivos. As respostas eram anotadas no questionário pelo avaliador.

---

<sup>6</sup>O Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC não tem a estrutura adequada para realizar testes subjetivos de sons automotivos. Seria necessário investir numa sala de testes em que se pudesse fazer um isolamento acústico, controlar a temperatura, etc., como recomendado por Otto et al. (2001). Vale ressaltar que, apesar dos problemas, é preferível fazer a avaliação com os sujeitos dentro do carro que colocá-los em uma outra sala.



Tabela 4.6: Média e desvio padrão da pontuação dada para cada um dos 14 sons, em cada um dos pares de adjetivos.

Par de adjetivo		022, Pê/Pára-brisa-1	021, Pára-brisa-2	027, Pê/Pára-brisa-2	023, Pê/Pára-brisa-2	020, Frente-2	024, Pára-brisa-3	019, Pê/Pára-brisa-3	027, Pára-brisa-3	027, Pê/Pára-brisa-4	024, Pê-4	020, Frente-4	026, Pára-brisa-4	019, Pê/Pára-brisa-3 (Repetição)	024, Pê-4 (Repetição)
<i>não-incômodo/incômodo</i>	Média	-2,0	-0,8	-1,9	0,4	0,1	1,9	0,5	-0,5	0,6	2,6	1,8	2,2	0,4	2,8
	Desvio padrão	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	1,0	1,3	1,3	1,3	0,6	1,1	01,0	1,3	0,4
<i>silencioso/barulhento</i>	Média	-1,9	-0,6	-1,9	0,5	-0,1	1,9	0,3	-0,5	1,0	2,5	2,1	2,2	0,3	2,8
	Desvio padrão	1,1	1,0	1,1	1,4	1,2	1,0	1,2	1,3	0,9	0,6	0,9	0,7	1,3	0,5
<i>grave/agudo</i>	Média	-1,2	-1,0	-1,7	-0,2	0,1	0	-0,2	-1,2	-1,4	0,5	-0,7	-0,5	-0,5	0,7
	Desvio padrão	1,1	1,1	1,1	1,3	1,4	1,5	1,2	1,0	0,9	1,6	1,3	1,6	1,3	1,9
<i>suave/áspero</i>	Média	-1,7	-0,4	-1,6	0,5	0,2	1,3	0,4	-0,2	0,6	2	1,2	1,1	0,5	2,2
	Desvio padrão	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	0,9	1,0	1,1	1,3	0,8	1,2	1,2	1,2	0,8
<i>não-assobiante/assobiante</i>	Média	-1,9	-1,5	-1,8	-0,7	0,7	-0,6	-0,6	-1,5	-1,2	-0,5	-0,8	-0,4	-0,2	-0,7
	Desvio padrão	1,3	1,2	1,3	1,7	1,6	1,8	1,6	1,3	1,6	2,0	1,8	2,0	1,7	2,0

## 4.4 Perfil dos sujeitos e médias das respostas subjetivas

O teste foi aplicado em trinta e um sujeitos entre os dias 5 e 12 de abril de 2006. A média de idade é de 25,1 anos com desvio padrão de 7,28 anos. A idade mínima é 19 e a máxima 53 anos. Participaram trinta homens (97% do total) e uma mulher. Doze sujeitos (39%) declararam ter algum tipo de experiência em avaliações subjetivas de sons, sendo que: nove disseram ter participado da primeira avaliação subjetiva feita para este trabalho; quatro disseram ter feito ensaios de protetores auditivos; um disse ter feito audiometria; um disse ter feito avaliação de ruído de aviões; um disse ter estudado o assunto; dois disseram ter avaliado compressores. Dezenove sujeitos (61%) disseram trabalhar com acústica, mas apenas cinco (16%) disseram ter experiência em preparação e/ou aplicação de testes subjetivos relacionados à acústica, ou alguma experiência em qualidade sonora. Dezesete sujeitos (55%) disseram possuir carro; dentre os que não possuem, dez (32%) disseram sempre dirigir algum carro da família. A Tabela 4.7 resume o perfil dos sujeitos desta avaliação.

Tabela 4.7: Perfil dos sujeitos que participaram da segunda avaliação subjetiva.

---

31 sujeitos

---

Idade média: 25,1 anos, com desvio padrão de 7,28 anos

Idade mínima: 19 anos, máxima: 53 anos

97% de homens

39% declararam ter algum tipo de experiência em avaliações subjetivas de sons

61% declararam trabalhar com acústica

55% disseram possuir carro, e 32% disseram sempre dirigir algum carro da família

---

A escala utilizada no diferencial semântico possuía sete níveis. Para se converter a resposta dos sujeitos em números, atribuiu-se o valor zero para o meio da escala, os valores -3, -2 e -1 para os quadradinhos mais próximos dos adjetivos da esquerda, e os valores 1, 2 e 3 para os quadradinhos mais próximos dos adjetivos da direita, conforme mostra a Figura 4.5. As respostas de todos os sujeitos, para todos os sons e os cinco pares de adjetivos, podem ser vistas no Apêndice J (página 183). A média e o desvio padrão de todos os pares, para cada som, podem ser vistos na Tabela 4.6.

## 4.5 Análise dos sons que se repetem

Para testar a coerência das respostas dos sujeitos, incluíram-se sons repetidos. Tanto o som 019, *Pé/Pára-brisa-3*, quanto o som 024, *Pé-4*, são tocados duas vezes. Na Tabela

	-3	-2	-1	0	1	2	3	
<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Figura 4.5: A pontuação atribuída para a escala do diferencial semântico.

4.8 se pode ver as médias das pontuações atribuídas ao som 019, *Pé/Pára-brisa-3*, tanto na primeira quanto na segunda vez (repetição) em que é apresentado aos sujeitos. A Tabela 4.9 traz a mesma informação para o som 024, *Pé-4*. A aplicação da prova de Friedman, feita na Seção 4.6, mostra que as médias das pontuações entre a primeira apresentação dos sons e as suas repetições não são significativamente diferentes.

Tabela 4.8: Médias das pontuações atribuídas ao som 019, *Pé/Pára-brisa-3*, tanto na primeira quanto na segunda vez (repetição) em que é apresentado aos sujeitos.

Par de adjetivo		019, <i>Pé/Pára-brisa-3</i>	019, <i>Pé/Pára-brisa-3</i> (Repetição)
<i>não-incômodo/incômodo</i>	Média	0,5	0,4
	Desvio padrão	1,3	1,3
<i>silencioso/barulhento</i>	Média	0,3	0,3
	Desvio padrão	1,2	1,3
<i>grave/agudo</i>	Média	-0,2	-0,5
	Desvio padrão	1,2	1,3
<i>suave/áspero</i>	Média	0,4	0,5
	Desvio padrão	1,0	1,2
<i>não-assobiante/assobiante</i>	Média	-0,6	-0,2
	Desvio padrão	1,6	1,7

Mas, como mostrado na Seção 3.6 (página 61), muitos sujeitos respondem bem diferente na primeira e na segunda vez em que os pares que se repetem são tocados. Construiu-se histogramas da mesma forma que naquela seção: para cada sujeito, calculou-se o módulo da diferença das suas respostas entre o som 019, *Pé/Pára-brisa-3*, e a sua repetição, e também entre o som 024, *Pé-4*, e a sua repetição, para cada par de adjetivo. Por exemplo, o sujeito 20 atribuiu o valor 1 para o som 019, *Pé/Pára-brisa-3*, e -1 para a repetição desse som. Assim, o módulo da diferença é  $|1 - (-1)| = 2$ . Essa diferença está mostrada no eixo horizontal. No eixo vertical mostra-se a quantidade de sujeitos. Na Figura 4.6 (a),

Tabela 4.9: Médias das pontuações atribuídas ao som 024, *Pé-4*, tanto na primeira quanto na segunda vez (repetição) em que é apresentado aos sujeitos.

Par de adjetivo		024, <i>Pé-4</i>	024, <i>Pé-4</i> (Repetição)
<i>não-incômodo/incômodo</i>	Média	2,6	2,8
	Desvio padrão	0,6	0,4
<i>silencioso/barulhento</i>	Média	2,5	2,8
	Desvio padrão	0,6	0,5
<i>grave/agudo</i>	Média	0,5	0,7
	Desvio padrão	1,6	1,9
<i>suave/áspero</i>	Média	2,0	2,2
	Desvio padrão	0,8	0,8
<i>não-assobiante/assobiante</i>	Média	-0,5	-0,7
	Desvio padrão	2,0	2,0

pode-se ver que 9 sujeitos marcaram igual na primeira e na segunda vez em que o som 019, *Pé/Pára-brisa-3*, foi apresentado; 12 sujeitos marcaram 1 quadradinho de diferença; e 10 marcaram de 2 quadradinhos para cima. As Figuras 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 mostram os histogramas gerados por este cálculo para os pares *silencioso/barulhento*, *grave/agudo*, *suave/áspero* e *não-assobiante/assobiante*, respectivamente.

Como na primeira avaliação subjetiva, não se eliminou nenhum sujeito por desempenho insuficiente. Apenas a análise de dois sons que são tocados duas vezes não garantiria um bom critério para isso.

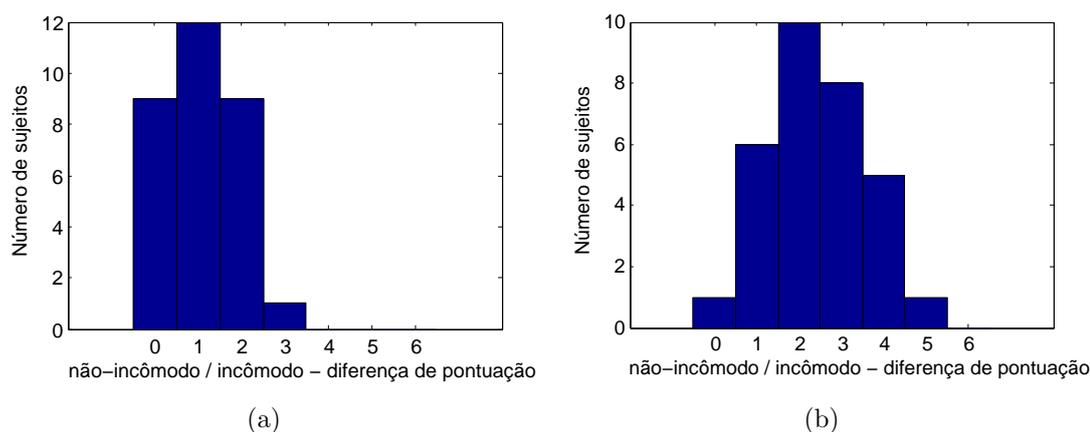


Figura 4.6: Histogramas: no eixo horizontal, os módulos das diferenças de pontuação (do par *não-incômodo/incômodo*) marcadas entre a primeira e a segunda vez em que o som foi apresentado, para os sons: (a) 019, *Pé/Pára-brisa-3*; (b) 024, *Pé-4*. No eixo vertical, a quantidade de sujeitos.

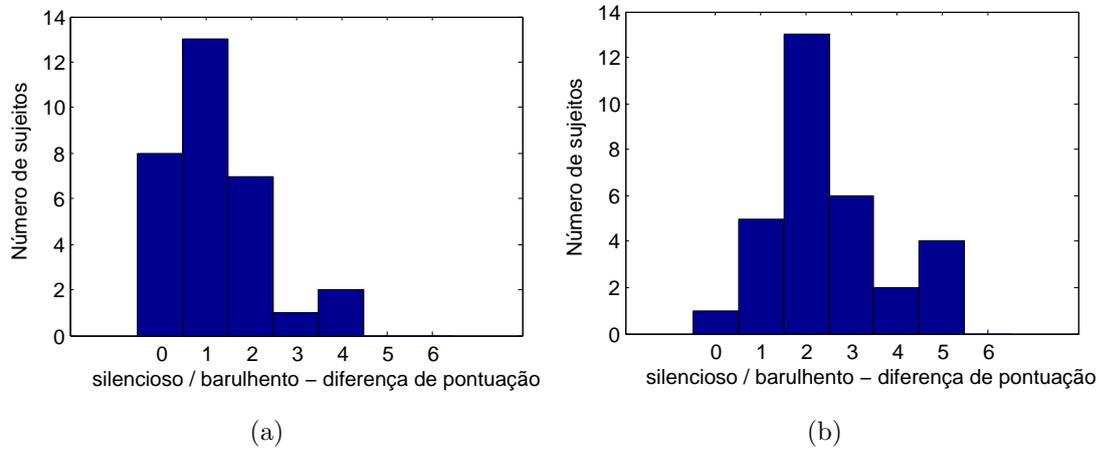


Figura 4.7: Histogramas: no eixo horizontal, os módulos das diferenças de pontuação (do par *silencioso/barulhento*) marcadas entre a primeira e a segunda vez em que o som foi apresentado, para os sons: (a) 019, *Pé/Pára-brisa-3*; (b) 024, *Pé-4*. No eixo vertical, a quantidade de sujeitos.

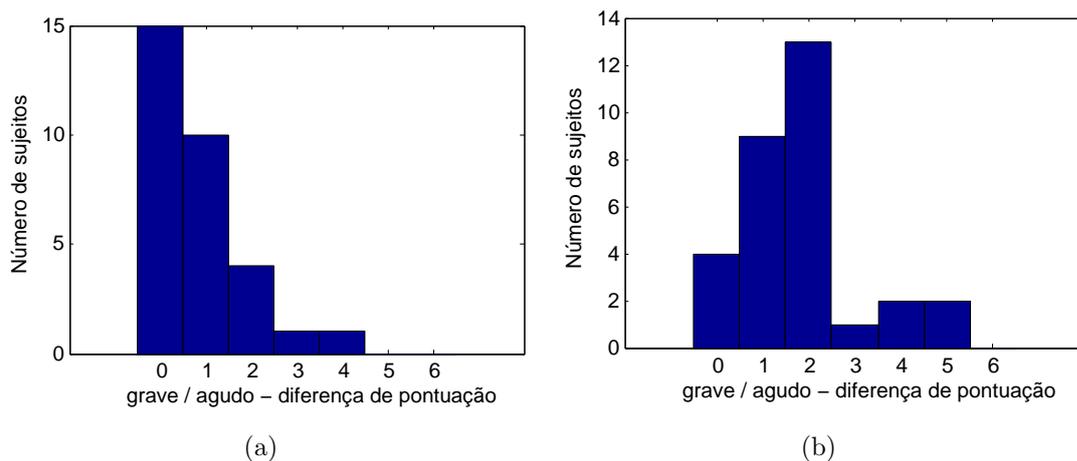


Figura 4.8: Histogramas: no eixo horizontal, os módulos das diferenças de pontuação (do par *grave/agudo*) marcadas entre a primeira e a segunda vez em que o som foi apresentado, para os sons: (a) 019, *Pé/Pára-brisa-3*; (b) 024, *Pé-4*. No eixo vertical, a quantidade de sujeitos.

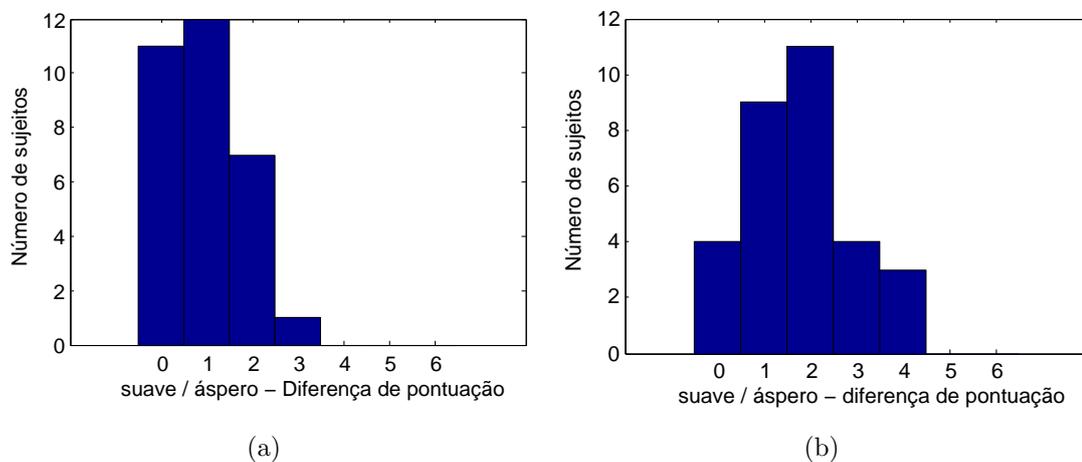


Figura 4.9: Histogramas: no eixo horizontal, os módulos das diferenças de pontuação (do par *suave/áspero*) marcadas entre a primeira e a segunda vez em que o som foi apresentado, para os sons: (a) 019, *Pé/Pára-brisa-3*; (b) 024, *Pé-4*. No eixo vertical, a quantidade de sujeitos.

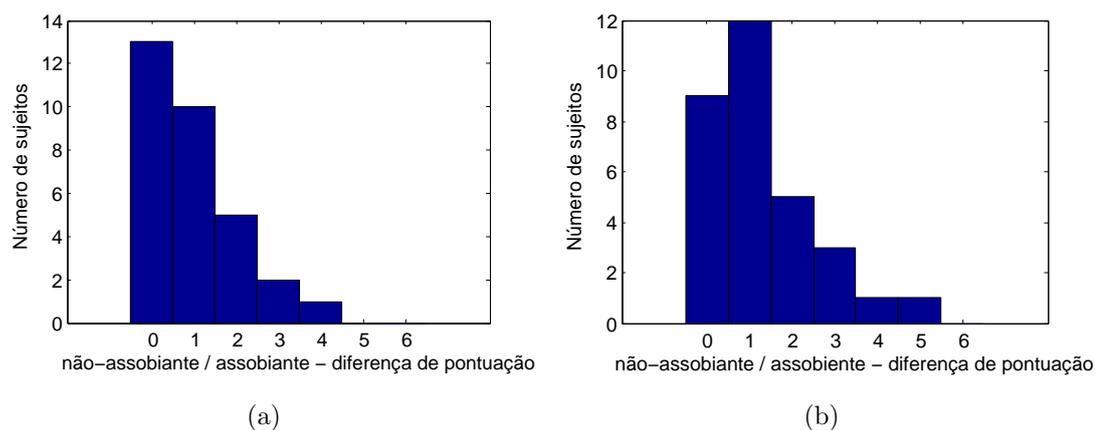


Figura 4.10: Histogramas: no eixo horizontal, os módulos das diferenças de pontuação (do par *não-assobiante/assobiante*) marcadas entre a primeira e a segunda vez em que o som foi apresentado, para os sons: (a) 019, *Pé/Pára-brisa-3*; (b) 024, *Pé-4*. No eixo vertical, a quantidade de sujeitos.

## 4.6 Aplicação da prova de Friedman

Para determinar se existem diferenças significativas entre as pontuações de cada som, optou-se por utilizar um método não-paramétrico, assim como na primeira avaliação subjetiva, por não se precisar fazer suposições acerca da distribuição de escores da população. Nesta avaliação, porém, as distribuições das respostas se assemelham bem mais à curva normal que na avaliação anterior, principalmente nos pares *não-incômodo/incômodo* e *silencioso/barulhento*. No par *grave/agudo*, e principalmente no par *não-assobiante/assobiante*, a distribuição das respostas diferem bastante da curva normal. A Figura 4.11 mostra os histogramas das pontuações dadas pelos sujeitos para o som 024, *Pé-4*, para três pares: (a) *não-incômodo/incômodo*; (b) *não-assobiante/assobiante*; (c) *grave/agudo*. Os pares *silencioso/barulhento* e *suave/áspero* não são mostrados por serem muito parecidos com o par *não-incômodo/incômodo*. Pela figura, pode-se ver que a distribuição dos escores para *não-incômodo/incômodo* se assemelha à metade da curva normal; já a distribuição para o par *não-assobiante/assobiante* é mais ou menos uniforme por toda a escala. A Figura 4.12 mostra os mesmos histogramas para o som 020, *Frente-2*. A observação desses histogramas é importante pois eles indicam o grau de dificuldade que os sujeitos tiveram em avaliar os sons com o diferencial semântico utilizado.

Os cálculos da prova de Friedman foram feitos usando-se um programa comercial. Foram montadas cinco matrizes, uma para cada par de adjetivos. Cada sujeito foi colocado em uma linha, enquanto que as 14 condições (os sons) foram distribuídas nas colunas. Tem-se então 13 graus de liberdade. Para o par *não-incômodo/incômodo*, tem-se  $\chi_F^2 = 313,2$ ; para *silencioso/barulhento*, tem-se  $\chi_F^2 = 323,7$ ; para *grave/agudo*, tem-se  $\chi_F^2 = 108,8$ ; para *suave/áspero*, tem-se  $\chi_F^2 = 249,6$ ; e para *não-assobiante/assobiante*, tem-se  $\chi_F^2 = 99,61$ . Para todos eles, para  $\alpha = 0,05$ , pode-se concluir que os sons receberam médias significativamente diferentes.

Comparando-se as médias do som 019, *Pé/Pára-brisa-3*, com as médias da sua repetição, vê-se que elas não são significativamente diferentes, para nenhum par de adjetivos. O mesmo ocorre com o som 024, *Pé-4*. Esses foram os únicos sons que foram repetidos.

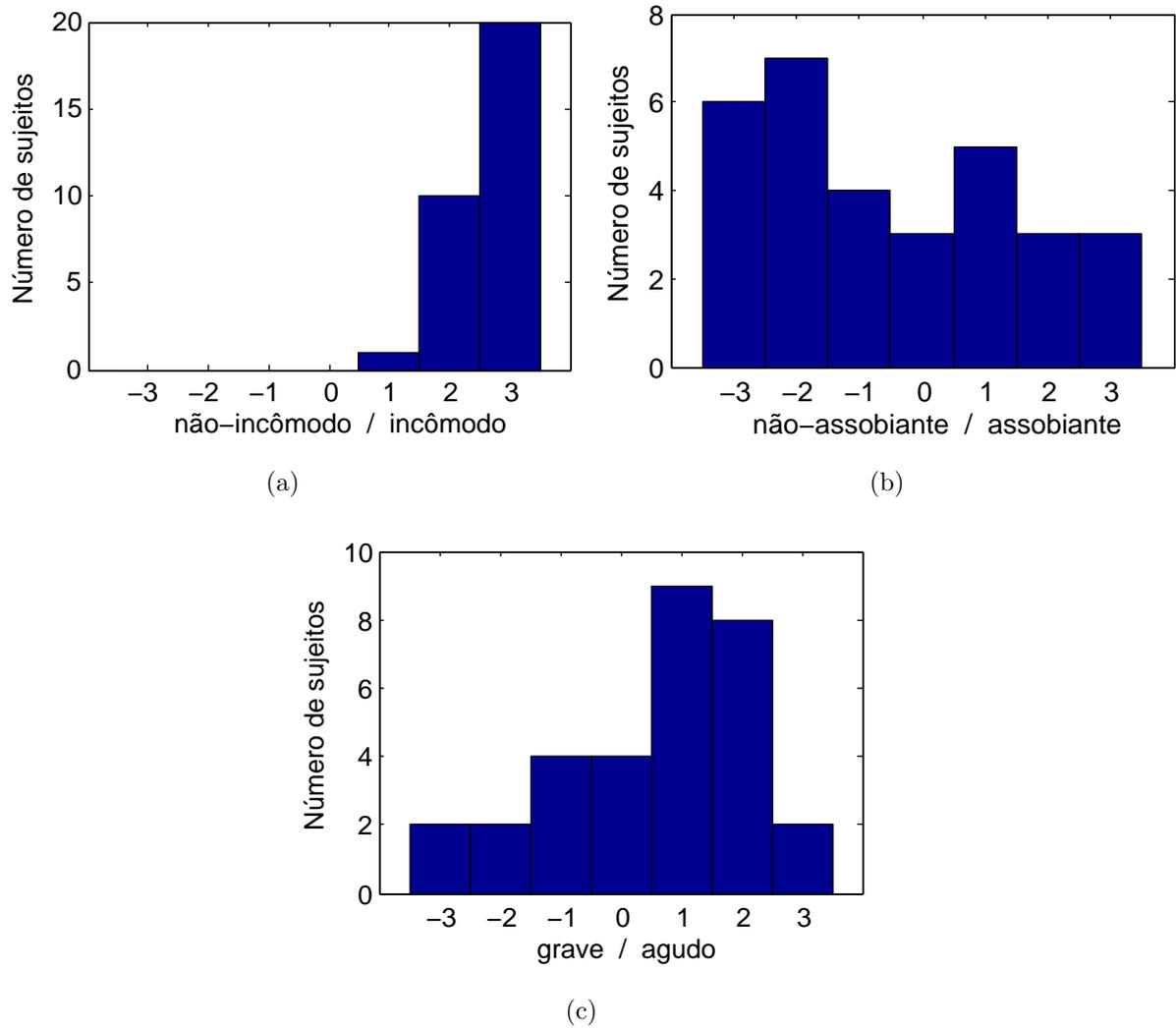


Figura 4.11: Histogramas das pontuações dadas pelos sujeitos para o som 024, *Pé-4*: (a) *não-incômodo/incômodo*; (b) *não-assobiante/assobiante*; (c) *grave/agudo*.

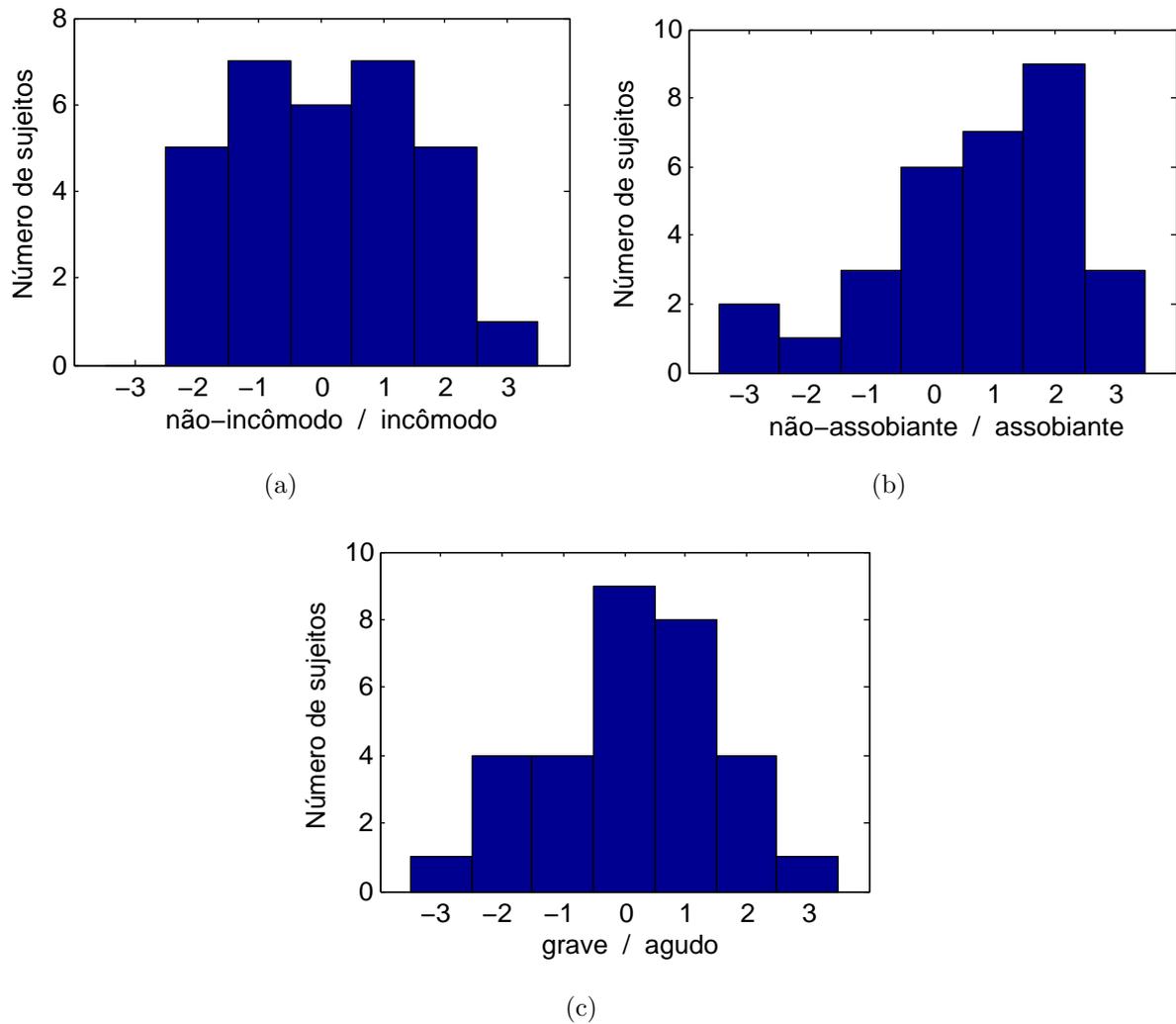


Figura 4.12: Histogramas das pontuações dadas pelos sujeitos para o som 020, *Frente-2*: (a) *não-incômodo/incômodo*; (b) *não-assobiante/assobiante*; (c) *grave/agudo*.

## 4.7 Comparação entre os resultados da primeira e da segunda avaliação subjetiva

Para se analisar a coerência entre os resultados obtidos na primeira e na segunda avaliação subjetiva, fez-se um gráfico em que se coloca, no eixo das abscissas, a diferença entre os sons utilizados na segunda avaliação, conforme calculada pela Equação (3.6), e, no eixo das ordenadas, a diferença entre as respostas do par *não-incômodo/incômodo*. Por exemplo, entre os sons 022, *Pé/Pára-brisa-1*, e 021, *Pára-brisa-2*, a diferença calculada pela Equação (3.6) é 3,7 pontos. O som 022, *Pé/Pára-brisa-1*, teve média de  $-2,0$  para o par *não-incômodo/incômodo*, enquanto que o som 021, *Pára-brisa-2*, teve média de  $-0,8$ . Assim, a diferença entre as médias é  $|-2,0 - (-0,8)| = 1,2$ . Esses dois valores (3,7 e 1,2) foram graficados. Isso foi feito entre todos os sons e o gráfico está mostrado na Figura 4.13. O coeficiente de determinação entre as duas variáveis é  $R^2 = 0,73$ .

O gráfico mostra que, quanto menor a diferença entre dois sons, menor é a diferença da resposta subjetiva do par *não-incômodo/incômodo* entre esses dois sons.

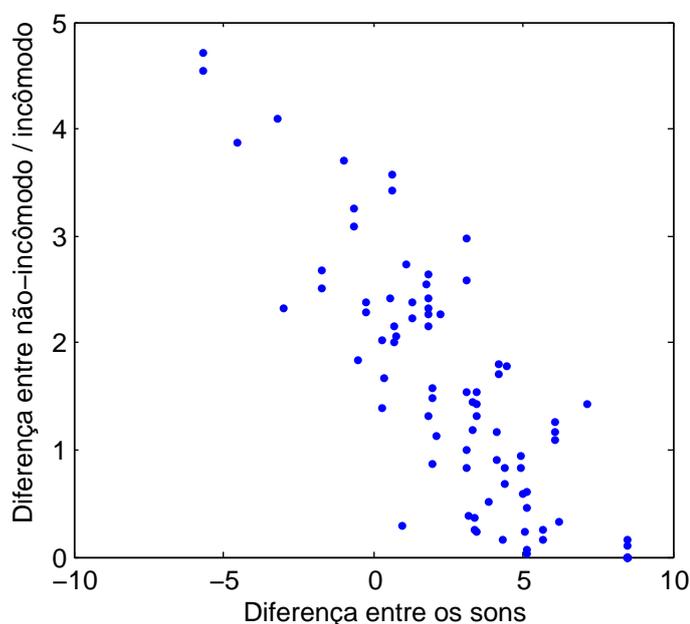


Figura 4.13: Comparação entre os resultados das duas avaliações subjetivas. No eixo das abscissas, a diferença entre os sons utilizados na segunda avaliação, conforme calculada pela Equação (3.6) e mostrada na Tabela 4.5. No eixo das ordenadas, os módulos das diferenças entre as respostas do par *não-incômodo/incômodo*.

## 4.8 Análise dos comentários dos sujeitos

Alguns sujeitos disseram que há pares muito associados. Isso se confirma pela Tabela 4.10, em que se pode ver que, entre a resposta dos pares *silencioso/barulhento* e *não-incômodo/incômodo*,  $R^2 = 0,988$ , e pela Figura 4.14, onde se mostra um gráfico relacionando as respostas subjetivas desses pares. Um sujeito disse que a maioria dos sons é grave, áspero e incômodo, e que menos barulhento seria melhor. Já outro disse que todos os sons incomodavam muito.

A falta de uma referência para comparação também foi observada por alguns sujeitos. Eles acham que, se tivesse uma, a avaliação se tornaria mais fácil. Além disso, alguns disseram que os sons são muito parecidos. Foi falado que um treinamento para os pares *grave/agudo*, *suave/áspero* e *não-assobiante/assobiante* também ajudaria.

Quanto ao par *grave/agudo*, alguns sujeitos relataram dificuldades em diferenciar um som agudo de um grave. Um deles disse que a maioria dos sons são graves. Outros dois disseram que, quanto mais grave, menos desagradável o som é.

Em relação ao par *suave/áspero*, algumas pessoas disseram que era difícil de diferenciar o que seria um som áspero e um suave. Já outra disse que diferenciou bem. Para um sujeito, todos os sons eram ásperos.

Quanto ao par *não-assobiante/assobiante*, alguns sujeitos disseram que consideraram “assobiante” como um som “tonal” ou como um “tom puro”. Usaram estas palavras por trabalharem com acústica. Já outro disse que considerou assobiante como um “som chato que fica na cabeça”, “como um assobio que chega a doer”. Enquanto houve sujeitos que disseram diferenciar bem um som assobiante de um não-assobiante, houve também os que disseram não o ter conseguido, ou não ter ouvido nenhum assobio. Outro disse ter identificado sons assobiantes em apenas alguns casos, o que corresponde à realidade, já que apenas alguns sons tinham tons.

## 4.9 Correlação entre os dados subjetivos

A Tabela 4.10 (página 117) é uma matriz de correlações entre os resultados subjetivos dos pares de adjetivos do diferencial semântico. Por ela, pode-se ver que existe uma alta correlação entre os pares *não-incômodo/incômodo* e *silencioso/barulhento* ( $R^2 = 0,988$ ). Essa relação pode ser verificada também na Figura 4.14, onde se pode ver que, quanto mais o som é considerado barulhento, mais ele é considerado incômodo.

Verifica-se que os pares *não-incômodo/incômodo*, *silencioso/barulhento* e *suave/áspero* estão altamente correlacionados. As Figuras 4.14 e 4.15 ajudam a visualizar esta relação. Isto pode significar ou que os sujeitos têm dificuldades para caracterizar o que é áspero e o que é suave, levando-os a avaliar os pares *silencioso/barulhento* e *suave/áspero* da mesma forma, o que evidenciaria a necessidade de se treinar os sujeitos; ou que, neste tipo de ruído, áspero e barulhento estão mesmo intimamente relacionados. Essa hipótese é reforçada olhando-se a Tabela 4.12 — uma matriz dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) entre as métricas psicoacústicas calculadas para os sons desta avaliação. Entre *loudness* e aspereza, tem-se que  $R^2 = 0,91$ . Zwicker e Fastl (1999) apontam que, para um incremento no nível de pressão sonora de 40 dB, a aspereza aumenta por um fator de três. Assim, aumentando-se o *loudness*, e como a composição espectral pouco se altera, é esperado que a aspereza também aumente<sup>7</sup>. Já entre *loudness* e agudeza a correlação é grande ( $R^2 = 0,85$ ), porém, entre os pares de adjetivos equivalentes a essas métricas (*silencioso/barulhento* e *grave/agudo*, respectivamente), a correlação não é tão alta ( $R^2 = 0,468$ ).

O par *não-assobiante/assobiante* apresenta maior correlação com o *grave/agudo* ( $R^2 = 0,52$ ).

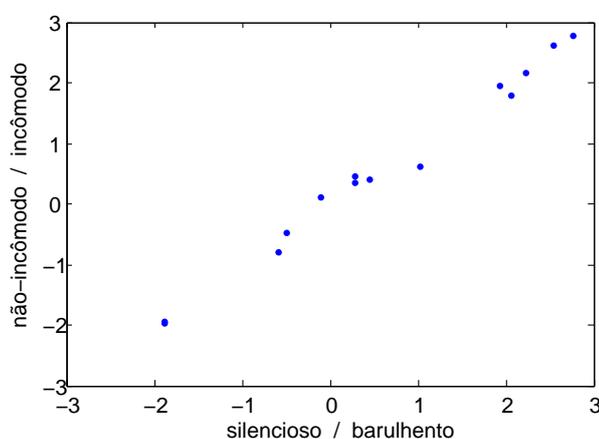


Figura 4.14: Relação entre as respostas dos pares *silencioso/barulhento* e *não-incômodo/incômodo*.

<sup>7</sup>Note-se que, embora a aspereza seja definida como uma modulação entre 15 e 300 Hz do sinal sonoro, não há necessidade de haver uma modulação periódica exata. Zwicker e Fastl (1999, p. 257) dizem que: “(...) the spectrum of the modulating function has to be between 15 and 300 Hz in order to produce roughness. For this reason, most narrow-band noises sound rough even though there is no periodical change in envelope or frequency.”

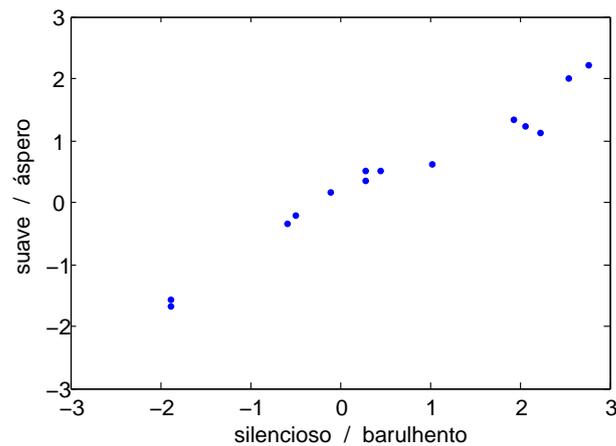


Figura 4.15: Relação entre as respostas dos pares *silencioso/barulhento* e *suave/áspero*.

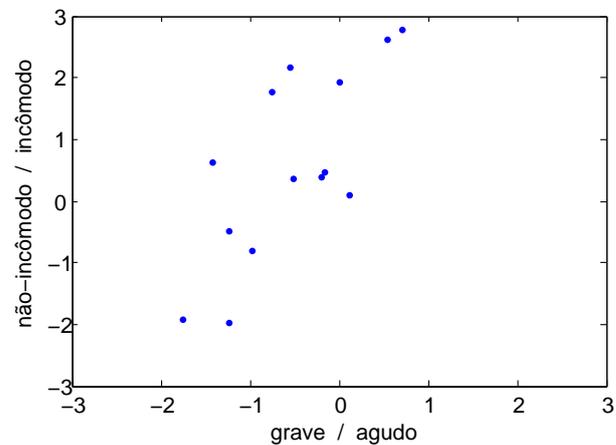


Figura 4.16: Relação entre as respostas dos pares *grave/agudo* e *não-incômodo/incômodo*.

## 4.10 Correlação entre as métricas psicoacústicas e os resultados subjetivos

Nesta seção, será mostrado qual ou quais métricas psicoacústicas estão correlacionadas com as respostas subjetivas. A investigação foi feita através de gráficos, dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e foi utilizada a regressão linear múltipla.

A Tabela 4.11 é uma matriz dos coeficientes de determinação entre as métricas psicoacústicas e os resultados subjetivos. Por ela, se pode ver que os pares *não-incômodo/incômodo*, *silencioso/barulhento* e *suave/áspero* se correlacionam todos muito bem com as métricas *loudness*, *agudeza* e *aspereza*. Isso se justifica pelo fato de estas métricas, neste tipo de ruído, também estarem altamente correlacionadas entre si, como se pode ver na Tabela 4.12.

Tabela 4.10: Matriz dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) entre os resultados subjetivos dos pares de adjetivos do diferencial semântico.

	<i>silencioso/barulhento</i>	<i>grave/agudo</i>	<i>suave/áspero</i>	<i>não-assobiante/assobiante</i>
<i>não-incômodo/incômodo</i>	<b>0,988</b>	0,554	<b>0,967</b>	0,314
<i>silencioso/barulhento</i>		0,468	<b>0,955</b>	0,252
<i>grave/agudo</i>			0,598	0,512
<i>suave/áspero</i>				0,331

 Tabela 4.11: Matriz dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) entre as métricas psicoacústicas e os resultados subjetivos.

	<i>loudness</i>	<i>agudeza</i>	<i>razão tom-ruído</i>	<i>proeminência</i>	<i>aspereza</i>
<i>não-incômodo/incômodo</i>	<b>0,95</b>	<b>0,90</b>	0,05	0,30	<b>0,93</b>
<i>silencioso/barulhento</i>	<b>0,95</b>	<b>0,89</b>	0,05	0,25	<b>0,92</b>
<i>grave/agudo</i>	0,48	0,62	0,02	0,46	0,51
<i>suave/áspero</i>	<b>0,89</b>	<b>0,94</b>	0,06	0,28	<b>0,90</b>
<i>não-assobiante/assobiante</i>	0,16	0,26	0,04	0,21	0,25

 Tabela 4.12: Matriz dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) entre as métricas psicoacústicas.

	<i>agudeza</i>	<i>razão tom-ruído</i>	<i>proeminência</i>	<i>aspereza</i>
<i>loudness</i>	<b>0,85</b>	0,09	0,28	<b>0,91</b>
<i>agudeza</i>		0,09	0,27	<b>0,88</b>
<i>razão tom-ruído</i>			0,09	0,08
<i>proeminência</i>				0,40

### 4.10.1 Uma investigação por gráficos

Nesta seção serão apresentados os principais gráficos entre as respostas subjetivas e as métricas psicoacústicas, para cada um dos pares de adjetivos.

#### 4.10.1.1 Par *não-incômodo/incômodo*

A Figura 4.17 é um gráfico que tem o *loudness* no eixo das abscissas e o par *não-incômodo/incômodo* no eixo das ordenadas. As Figuras 4.18 e 4.19 têm a agudeza e a aspereza no eixo das abscissas, respectivamente. Por elas, se pode visualizar as correlações vistas na Tabela 4.11: quanto maior o *loudness*, a agudeza e a aspereza, maior o incômodo.

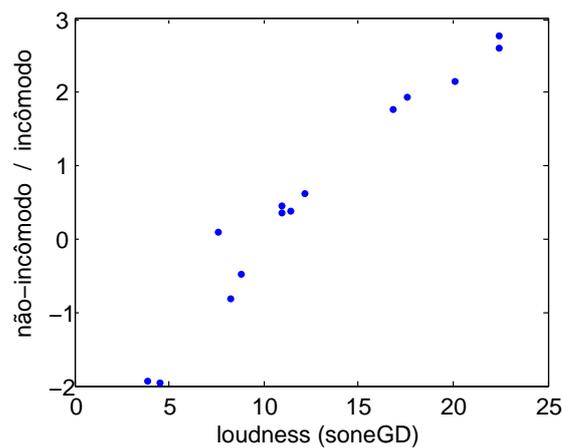


Figura 4.17: Relação entre as respostas do par *não-incômodo/incômodo* e o *loudness*.

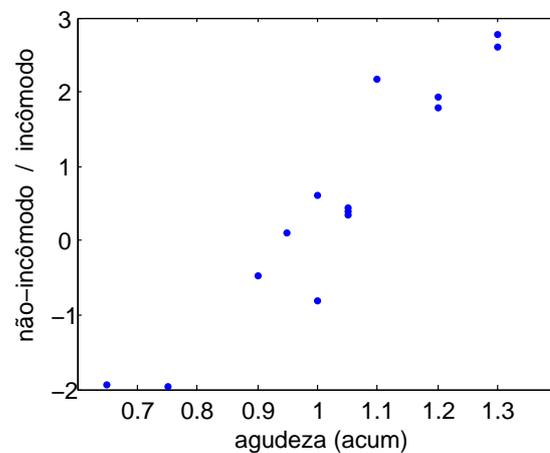


Figura 4.18: Relação entre as respostas do par *não-incômodo/incômodo* e a agudeza.

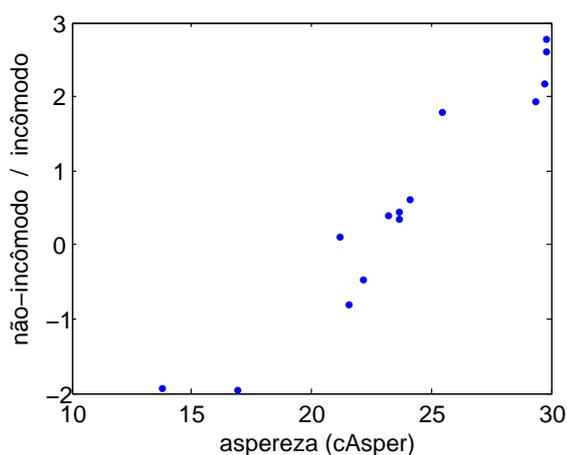


Figura 4.19: Relação entre as respostas do par *não-incômodo/incômodo* e a aspereza.

#### 4.10.1.2 Par *silencioso/barulhento*

A Figura 4.20 mostra um gráfico que tem o *loudness* no eixo das abscissas e o par *silencioso/barulhento* no eixo das ordenadas. Quanto maior o *loudness*, mais o som é considerado barulhento.

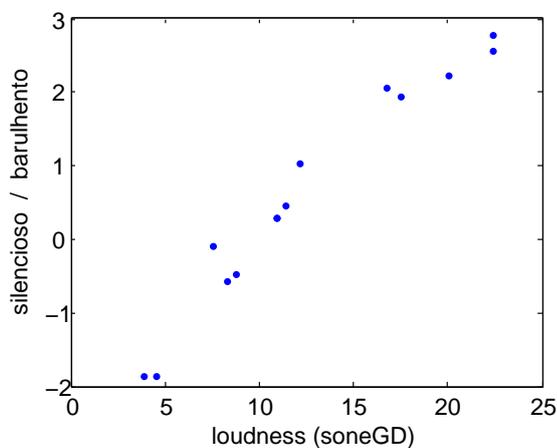


Figura 4.20: Relação entre as respostas do par *silencioso/barulhento* e o *loudness*.

#### 4.10.1.3 Par *grave/agudo*

A Figura 4.21 mostra um gráfico que tem a agudeza no eixo das abscissas e o par *grave/agudo* no eixo das ordenadas. Por este gráfico e pela Tabela 4.11, pode-se ver que, nesta avaliação, o par *grave/agudo* não é tão dependente da agudeza ( $R^2 = 0,62$ ). Isso talvez possa ser melhorado treinando-se os sujeitos.

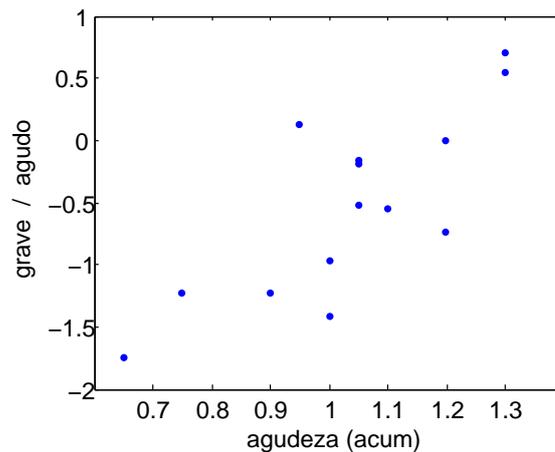


Figura 4.21: Relação entre as respostas do par *grave/agudo* e a *agudeza*.

#### 4.10.1.4 Par *suave/áspero*

A Figura 4.22 mostra um gráfico que tem o par *suave/áspero* no eixo das ordenadas e a *aspereza* no eixo das abscissas. Já a Figura 4.23 tem a *agudeza* no eixo das abscissas. Por elas, se pode ver a boa correlação que existe entre aquele par e estas duas métricas.

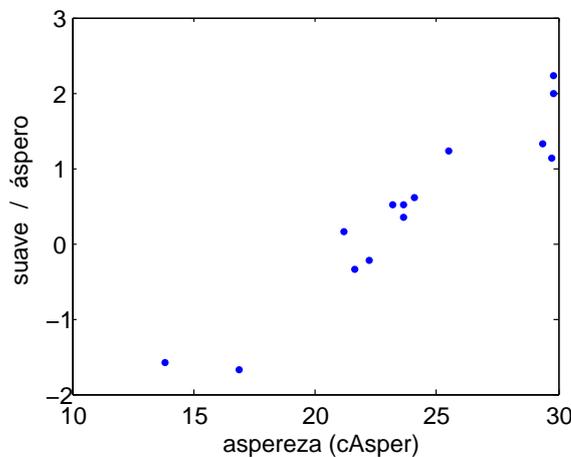


Figura 4.22: Relação entre as respostas do par *suave/áspero* e a *aspereza*.

#### 4.10.1.5 Par *não-assobiante/assobiante*

A Figura 4.24 mostra um gráfico que tem o par *não-assobiante/assobiante* no eixo das ordenadas e a razão tom-ruído no eixo das abscissas. Já a Figura 4.25 tem a proeminência no eixo das abscissas. Não há correlação entre aquele par e estas métricas. Caso tivesse tido um treinamento, para fazer com que os sujeitos entendessem melhor o significado do par, talvez o resultado fosse melhor. Mas, apesar disso, vale a pena observar o ponto destoante na Figura 4.24, que está no canto superior direito: ele refere-se ao som 020,

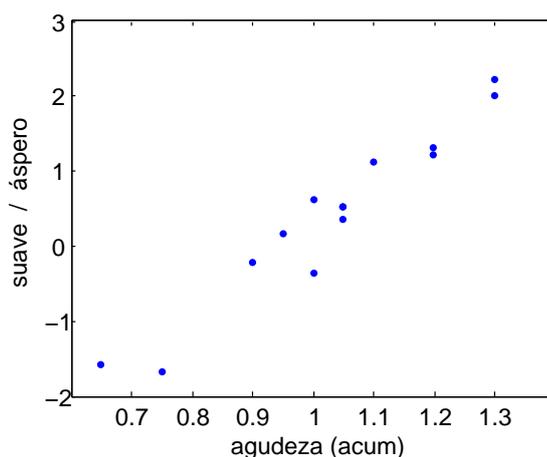


Figura 4.23: Relação entre as respostas do par *suave/áspero* e a agudeza.

*Frente-2*, que tem um tom perfeitamente audível e o maior valor de razão tom-ruído: 3,25 dB. Isso indica que, com treinamento, é provável que se obtenha uma boa correlação entre o par *não-assobiante/assobiante* e a razão tom-ruído.

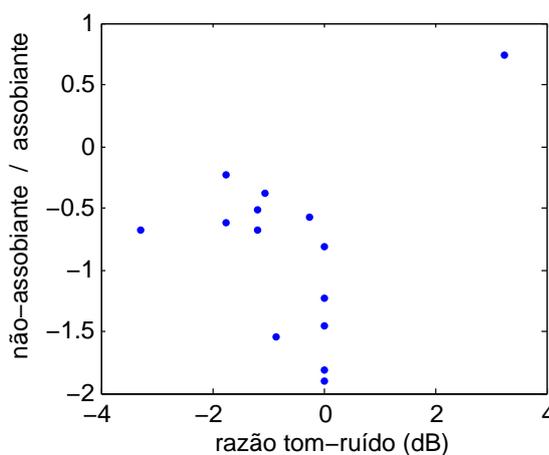


Figura 4.24: Relação entre as respostas do par *não-assobiante/assobiante* e a razão tom-ruído.

## 4.10.2 Regressão linear múltipla

Aplicou-se a regressão linear múltipla<sup>8</sup> para se obter equações que relacionem as métricas psicoacústicas (variáveis independentes) com as respostas subjetivas dos pares de adjetivos (variáveis dependentes). O método utilizado foi o da regressão por etapas. As Seções de 4.10.2.1 a 4.10.2.5 mostram o resultado dessas regressões, cada uma para um par de adjetivos.

<sup>8</sup>Uma breve explicação sobre regressão linear múltipla pode ser encontrada na Seção 3.9.3 (página 75).

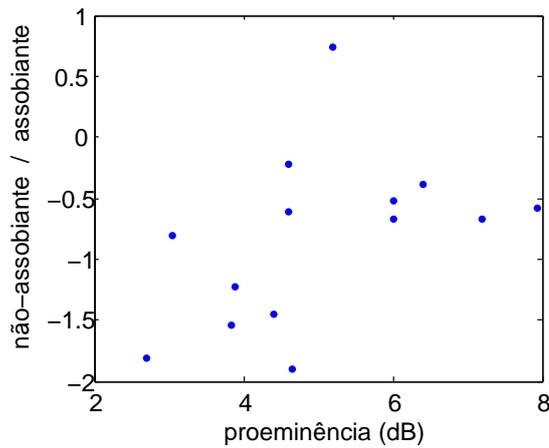


Figura 4.25: Relação entre as respostas do par *não-assobiante/assobiante* e a proeminência.

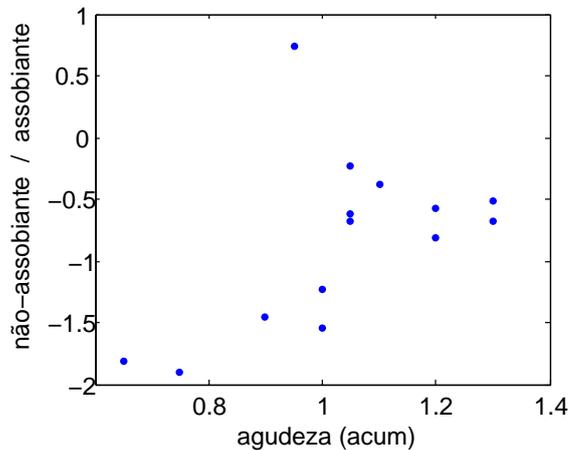


Figura 4.26: Relação entre as respostas do par *não-assobiante/assobiante* e a agudeza.

#### 4.10.2.1 Aplicação da regressão linear múltipla utilizando o par *não-incômodo/incômodo* como variável dependente

Quando se aplica a regressão para o par *não-incômodo/incômodo*, chega-se ao modelo da Equação (4.1), com  $R^2 = 0,96$ . A Figura 4.27 mostra um gráfico que compara a resposta subjetiva daquele par com a previsão dessa resposta pela Equação (4.1). Esse gráfico mostra as respostas subjetivas no eixo das ordenadas e a previsão dessa resposta no eixo das abscissas. A reta indica os casos em que as respostas do modelo são iguais às respostas subjetivas.

$$inc_1 = -4,37 + 0,167 \cdot loudness + 2,71 \cdot agudeza \quad (4.1)$$

onde:

$inc_1$  é a previsão da resposta subjetiva do par *não-incômodo/incômodo*, usando *loudness* e agudeza como variáveis independentes.

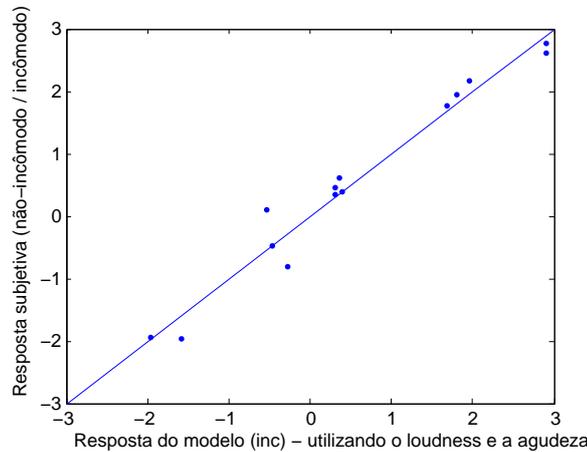


Figura 4.27: Comparação entre as respostas subjetivas do par *não-incômodo/incômodo* com a previsão dessas respostas pela Equação (4.1).

Mas pode-se usar apenas o *loudness* como variável independente, como foi feito na Equação (4.2), com  $R^2 = 0,95$ . Esse modelo já é suficientemente bom. A Figura 4.28 mostra um gráfico que compara a resposta subjetiva do par *não-incômodo/incômodo* com a previsão dessa resposta pela Equação (4.2).

$$inc_2 = -2,52 + 0,243 \cdot loudness \tag{4.2}$$

onde:

$inc_2$  é a previsão da resposta subjetiva do par *não-incômodo/incômodo*, usando apenas *loudness* como variável independente.

#### 4.10.2.2 Aplicação da regressão linear múltipla utilizando o par *silencioso/barulhento* como variável dependente

Quando se aplica a regressão para o par *silencioso/barulhento*, chega-se ao modelo da Equação (4.3), com  $R^2 = 0,95$ . A Figura 4.29 mostra um gráfico que compara a resposta subjetiva daquele par com a previsão dessa resposta pela Equação (4.3). Observe-se que as Equações (4.2) (que calcula  $inc_2$ ) e (4.3) (que calcula  $bar$ ) são muito parecidas, isso porque os pares *não-incômodo/incômodo* e *silencioso/barulhento* estão altamente correlacionados.

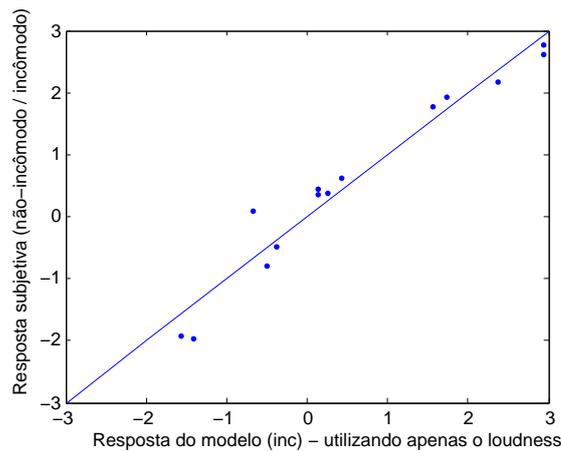


Figura 4.28: Comparação entre as respostas subjetivas do par *não-incômodo/incômodo* com a previsão dessas respostas pela Equação (4.2).

$$\bar{bar} = -2,46 + 0,242 \cdot loudness \quad (4.3)$$

onde:

$\bar{bar}$  é a previsão da resposta subjetiva do par *silencioso/barulhento*.

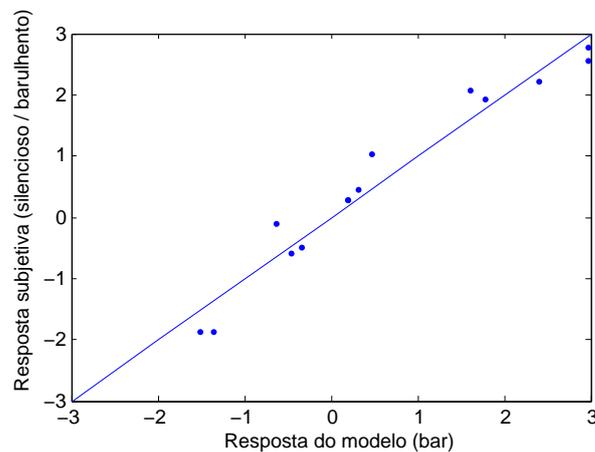


Figura 4.29: Comparação entre as respostas subjetivas do par *silencioso/barulhento* com a previsão dessas respostas pela Equação (4.3).

#### 4.10.2.3 Aplicação da regressão linear múltipla utilizando o par *grave/agudo* como variável dependente

Quando se aplica a regressão para o par *grave/agudo*, chega-se ao modelo da Equação (4.4), com  $R^2 = 0,62$ . A Figura 4.30 mostra um gráfico que compara a resposta subjetiva

daquele par com a previsão dessa resposta pela Equação (4.4).

$$agu = -3,75 + 3,12 \cdot agudeza \tag{4.4}$$

onde:

*agu* é a previsão da resposta subjetiva do par *grave/agudo*.

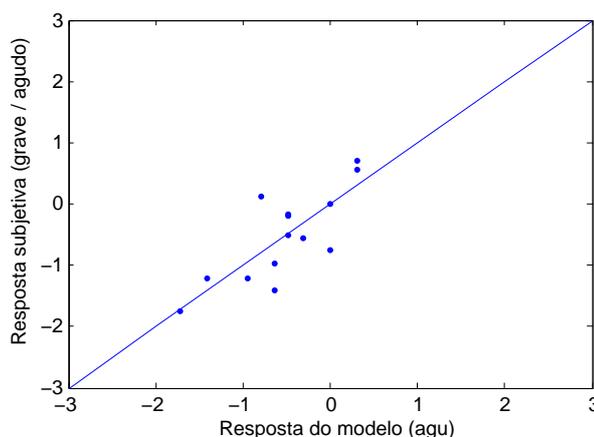


Figura 4.30: Comparação entre as respostas subjetivas do par *grave/agudo* com a previsão dessas respostas pela Equação (4.4).

#### 4.10.2.4 Aplicação da regressão linear múltipla utilizando o par *suave/áspero* como variável dependente

Quando se aplica a regressão para o par *suave/áspero*, chega-se ao modelo da Equação (4.5), que utiliza a agudeza como variável independente, com  $R^2 = 0,94$ . A Figura 4.31 mostra um gráfico que compara a resposta subjetiva daquele par com a previsão dessa resposta pela Equação (4.5).

Já a Equação (4.6) é o resultado da regressão utilizando-se a aspereza como variável independente, com  $R^2 = 0,90$ . A Figura 4.32 mostra um gráfico que compara a resposta subjetiva do par *suave/áspero* com a previsão dessa resposta pela Equação (4.6).

$$asp_{agudeza} = -5,73 + 5,96 \cdot agudeza \tag{4.5}$$

onde:

$asp_{agudeza}$  é a previsão da resposta subjetiva do par *suave/áspero*, usando a agudeza como variável independente.

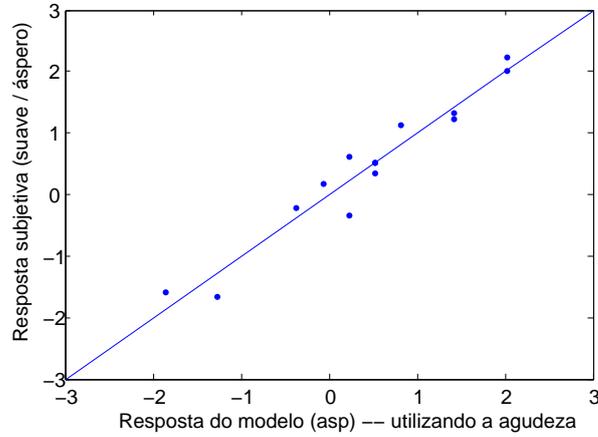


Figura 4.31: Comparação entre as respostas subjetivas do par *suave/áspero* com a previsão dessas respostas pela Equação (4.5).

$$asp_{aspereza} = -4,97 + 0,226 \cdot aspereza \quad (4.6)$$

onde:

$asp_{aspereza}$  é a previsão da resposta subjetiva do par *suave/áspero*, usando a aspereza como variável independente.

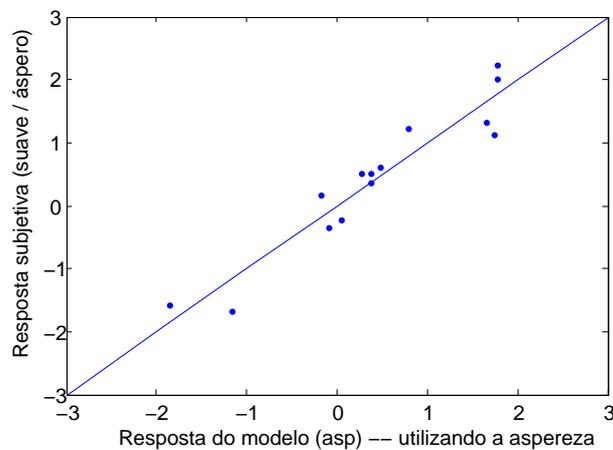


Figura 4.32: Comparação entre as respostas subjetivas do par *suave/áspero* com a previsão dessas respostas pela Equação (4.6).

#### 4.10.2.5 Aplicação da regressão linear múltipla utilizando o par *não-assobiante/assobiante* como variável dependente

Para o par *não-assobiante/assobiante*, não foi possível obter uma equação que correlacionasse a sua resposta subjetiva com as métricas psicoacústicas.

### 4.11 Conclusões parciais

Para se estimar o incômodo ou a desagradabilidade causada pelo ruído do sistema de CAVA, as métricas mais apropriadas são o *loudness* e a agudeza, conforme a Equação (4.1). Porém, pode-se usar apenas o *loudness*, conforme a Equação (4.2), que tem uma ótima correlação com o par *não-incômodo/incômodo* ( $R^2 = 0,95$ ). Também o *loudness* é capaz de descrever muito bem o par *silencioso/barulhento*, e essa relação é dada pela Equação (4.3).

Como o *loudness*, a agudeza e a aspereza do ruído do sistema de CAVA estão muito correlacionados, não é necessário usar estas três métricas numa mesma equação que preveja a resposta subjetiva dos pares de adjetivos. Esse resultado já tinha sido encontrado no Capítulo 3 — viu-se que, por causa da alta correlação entre  $\Delta\textit{loudness}$  e  $\Delta\textit{aspereza}$ , não era necessário usar estas duas variáveis numa mesma equação que modelasse a percepção de diferença.

Como o *loudness* é um fator determinante no ruído do sistema de CAVA, para se investigar a influência que outras características do som podem ter, como a razão tom-ruído ou a agudeza, é necessário se igualar o *loudness* de todos os sons de uma avaliação subjetiva. Também é necessário treinar os sujeitos para avaliar pares como *grave/agudo* e *não-assobiante/assobiante*, caso contrário corre-se o risco de não se chegar a resultados relevantes.

Fazer uma avaliação igualando-se o *loudness* também seria importante para saber se o par *silencioso/barulhento* é apenas influenciado pelo *loudness*, ou se poderia ser também influenciado pela agudeza, por exemplo.

Os ruídos do sistema de CAVA do automóvel estudado são pouco tonais. Portanto, para se estudar a influência dessa característica na qualidade do ruído, além de se igualar o *loudness*, seria necessário fazer gravações em outros modelos de carros ou sintetizar os sons.

Entre os dados subjetivos, há uma grande correlação entre os pares *silencioso/ba-*

*ruído* e *suave/áspero* ( $R^2 = 0,955$ ), o que talvez possa ser explicado pelo fato de o *loudness* e a aspereza também estarem bastante correlacionados, muito embora acredite-se que os sujeitos não estavam treinados o suficiente para avaliar a aspereza do som. Por sua vez, esses dois pares de adjetivos correlacionam-se com o par *não-incômodo/incômodo*.

É necessário treinar os sujeitos para avaliar principalmente os pares *grave/agudo* e *não-assobiante/assobiante*. Alguns sujeitos relataram dificuldades em diferenciar um som agudo de um grave, embora pode ser que essa dificuldade realmente venha de diferenças pequenas de agudeza. Porém, a regressão aplicada aos pares dos grupos 1 e 2, na análise da primeira avaliação subjetiva (veja a Seção 3.9.3.3, na página 82), revela que, para os sons de maior *loudness*, as diferenças de agudeza entre os sons foram bastante perceptíveis. Quanto ao par *não-assobiante/assobiante*, os resultados indicam que o som mais tonal foi percebido, conforme mostra a Seção 4.10.1.5 (página 120), embora não tenha havido correlação entre este par e as métricas de tonalidade (razão tom-ruído e proeminência).

Como visto na Seção 4.7 (página 113), há coerência entre os resultados da primeira e da segunda avaliação subjetiva. Quanto menor a diferença entre dois sons, conforme calculada pela Equação (3.6), menor é a diferença da resposta subjetiva do par *não-incômodo/incômodo* entre esses sons.

Por estar muito correlacionada com o *loudness* e a agudeza, a aspereza torna-se uma métrica desnecessária na modelagem da resposta dos sujeitos, como visto também no Capítulo 3. Apenas se utilizou a aspereza na Equação (4.6) para a modelagem do par *suave/áspero*, mas, como se viu na Tabela 4.11 (página 117), a agudeza e o *loudness* têm correlações equivalentes com este par de adjetivos.

É necessário se fazer estudos sobre a utilização de diferenças semânticas em português para a avaliação de ruídos, como apontado por Paul (2005).

A inclusão dos sons repetidos revelou haver coerência na média das respostas subjetivas, conforme mostrou a Seção 4.5 (página 105), muito embora grande parte dos sujeitos marque valores bem diferentes na primeira e na segunda apresentação dos sons. Essa diferença, muitas vezes grande, pode ser influenciada pela ordem de apresentação dos sons: se um som foi apresentado logo no início e o sujeito o considerou barulhento, mas logo depois o sujeito descobriu que há outros mais barulhentos, então, quando este som for repetido, o sujeito o marcará como menos barulhento.

## 5 Conclusões

No final do Capítulo 3 e do Capítulo 4 foram apresentadas as conclusões de cada etapa do trabalho. Assim, o objetivo deste capítulo é fazer um apanhado dos resultados mais importantes, rerepresentando inclusive os gráficos e equações essenciais.

### 5.1 As métricas psicoacústicas mais importantes

Na percepção do ruído do sistema de CAVA, as métricas psicoacústicas mais importantes, para o automóvel estudado, são o *loudness*, a agudeza, a razão tom-ruído e a proeminência.

O *loudness* é, sem dúvida, a mais importante. Na regressão linear do Capítulo 3 (Seção 3.9.3), das seis equações geradas, apenas em uma não há variáveis derivadas do *loudness*. Na primeira avaliação subjetiva, os sujeitos faziam comentários a respeito da diferença de volume entre os sons do par quando a diferença de *loudness* era de pelo menos 3 soneGD. Quando a diferença de *loudness* é suficientemente grande, ele se torna o único fator na percepção de diferença, conforme se pode tirar pelos resultados do grupo 5. Dos resultados do Capítulo 4, viu-se que o *loudness* consegue sozinho descrever muito bem os pares *não-incômodo/incômodo* e *silencioso/barulhento*, conforme se pode ver nas Figuras 5.1 (reapresentação da Figura 4.17, página 118) e 5.2 (reapresentação da Figura 4.20, página 119), respectivamente, e ele também tem uma alta correlação com o par *suave/áspero* ( $R^2 = 0,89$ ). Assim, para se investigar de que forma a agudeza ou a razão tom-ruído afeta o incômodo causado pelo ruído, é necessário igualar o *loudness* dos sons participantes da avaliação subjetiva.

A agudeza também se mostrou uma métrica importante, principalmente nos resultados do Capítulo 3. Na regressão feita apenas com os pares dos grupos 1 e 2, em que todos os sons são da velocidade de ventilação 4 (e têm, portanto, pouca diferença de *loudness* entre eles), obteve-se uma equação que tinha apenas  $\Delta$ agudeza como variável independente. Além disso, nos comentários dos sujeitos, as diferenças de agudeza entre os sons foram

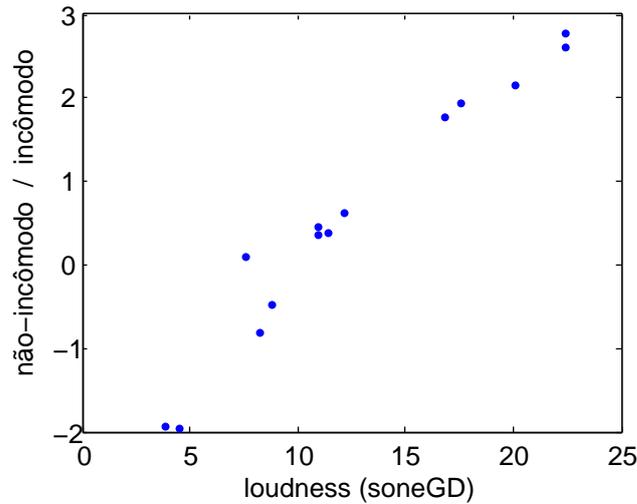


Figura 5.1: Relação entre as respostas do par *não-incômodo/incômodo* e o *loudness*.

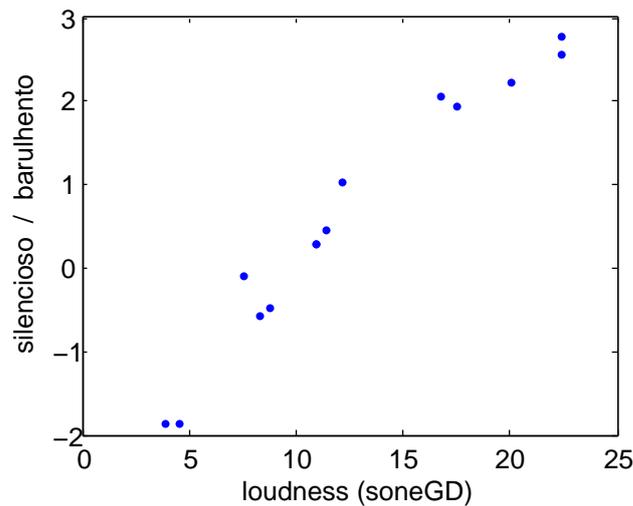


Figura 5.2: Relação entre as respostas do par *silencioso/barulhento* e o *loudness*.

percebidas, e termos como “agudo”, “grave”, “abafado” e “aberto” foram usados. Mas  $\Delta$ agudeza não teve boa correlação com os pares dos grupos 3 e 4 (velocidade de ventilação 2), o que indica que a agudeza pode ser uma métrica importante apenas para os ruídos de *loudness* mais alto. Porém, mais investigações são necessárias.

Tanto os comentários dos sujeitos quanto a utilização da variável  $\Delta$ rtr nas equações do Capítulo 3 demonstram que a métrica razão tom-ruído também é importante na percepção deste tipo de ruído. No Capítulo 4, porém, ela não obteve boa correlação nem com o par *não-assobiante/assobiante*, muito embora o som 020, *Frente-2*, que tem um tom perfeitamente audível e o maior valor de razão tom-ruído, tenha recebido uma pontuação para o par *não-assobiante/assobiante* que se destacava dos demais sons. Acredita-se que,

treinando-se os sujeitos, correlações satisfatórias entre o par *não-assobiante/assobiante* e a razão tom-ruído poderiam ser obtidas.

A proeminência também teve uma boa correlação com as respostas subjetivas do Capítulo 3. Acredita-se que tanto a proeminência quanto a frequência mais proeminente ajudam a caracterizar o timbre, porém, mais investigações se fazem necessárias.

A intensidade de flutuação não se mostrou uma métrica importante na percepção dos ruídos em estudo, conforme os resultados do Capítulo 3. A aspereza, por ter grande correlação com o *loudness*, torna-se desnecessária nas equações que modelam as respostas dos sujeitos.

## 5.2 Modelagem da percepção de diferença

As Equações (5.1) (reapresentação da Equação (3.6), página 81) e (5.2) (reapresentação da Equação (3.7), página 82) foram as que alcançaram melhor resultado na modelagem da percepção de diferença<sup>1</sup>. Quanto maior o valor de  $y$ , mais os sons comparados serão considerados parecidos. A diferença entre as duas equações é que, na Equação (5.2), as variáveis  $\Delta loudness$  e  $\Delta agudeza$  são substituídas pela variável  $\Delta loud_{VI}$ . Essas equações foram as que melhor previram as respostas subjetivas dos pares do Treinamento, de acordo com a Seção 3.9.3.6 (página 84).

$$y = 8,5 - 0,17 \cdot \Delta loudness - 12 \cdot \Delta agudeza - 0,58 \cdot \Delta rtr - 0,73 \cdot \Delta proem - 0,0003 \cdot \Delta fp \quad (5.1)$$

$$y = 8,3 - 0,45 \cdot \Delta rtr - 0,97 \cdot \Delta proem - 0,0002 \cdot \Delta fp - 9,4 \cdot \Delta loud_{VI} \quad (5.2)$$

## 5.3 Modelagem do incômodo

A Equação (5.3) (reapresentação da Equação (4.2), página 123) é um modelo para o incômodo causado pelo ruído do sistema de CAVA. Pode-se ver, pela Figura 5.1, a grande dependência que o incômodo tem do *loudness*, que fica também evidente pela Equação (5.3), que é o resultado da aplicação da regressão linear utilizando o par *não-incômodo/incômodo* como variável dependente (Seção 4.10.2.1, página 122).

<sup>1</sup>Os valores dos coeficientes de regressão foram arredondados, conforme recomendado por Howell (1992)

$$inc_2 = -2,52 + 0,243 \cdot loudness \quad (5.3)$$

onde:

$inc_2$  é a previsão da resposta subjetiva do par *não-incômodo/incômodo*, usando apenas o *loudness* como variável independente.

## 5.4 Sugestões para trabalhos futuros

As próximas investigações a respeito da qualidade dos ruídos do sistema de CAVA poderiam abordar como a agudeza, a razão tom-ruído e a proeminência afetam na percepção do incômodo, ou desagradabilidade, causado pelo ruído. Para isso, a importância do *loudness* deve ser anulada, tornando-o igual em todos os sons (ou na maioria) que participarem das avaliações subjetivas. Mas devem-se treinar os sujeitos para avaliar pares como *grave/agudo* e *não-assobiante/assobiante*, ou corre-se o risco de não se chegar a resultados relevantes. O passo posterior seria investigar o ruído quando o ar-condicionado também estiver ligado, e, para se avançar ainda mais, poder-se-ia estudar como os ruídos do sistema de CAVA influenciam no conforto térmico, como feito por Roussarie et al. (2005). Também é necessário se fazer mais pesquisas a respeito do uso do diferencial semântico em português para a avaliação de ruídos. Outros métodos de avaliação também devem ser testados.

Um trabalho interessante seria criar uma métrica capaz de representar o timbre de ruídos de sistemas de ventilação. Apenas a agudeza não é capaz de cobrir a variedade de timbres que um ruído banda-larga pode ter. Poder-se-ia tomar como base o ruído branco e modificá-lo através de filtros.

Outro trabalho possível seria a criação de um espaço adequado para a realização de avaliações subjetivas de ruídos automotivos no Laboratório de Acústica e Vibrações da UFSC.

## *Referências*

- BLAUERT, J.; BODDEN, M. Gütebeurteilung von Geräuschen — Warum ein Problem? — In: Sound-engineering. Kundenbezogene Akustikentwicklung in der Fahrzeugtechnik. Q.-H. Vo (ed.). Expert-Verlag, Renningen-Malmsheim, 1994, 1-9. Citado por: GUSKI, R. Psychological Methods for Evaluating Sound Quality and Assessing Acoustic Information. **ACUSTICA - acta acustica**, Vol. 83, p. 765, 1997.
- BLAUERT, J.; JEKOSCH, U. Sound-Quality Evaluation — A Multi-Layered Problem. **ACUSTICA - acta acustica**, Vol. 83, p. 747-753, 1997.
- BODDEN, M. Instrumentation for Sound Quality Evaluation. **ACUSTICA - acta acustica**, Vol. 83, p. 775-783, 1997.
- CHAMPAGNE, A. J.; AMMAN, S. A. Vehicle Closure Sound Quality. In: NOISE & VIBRATION CONFERENCE & EXPOSITION, 1995, Traverse City, MI, USA. **Proceedings of the 1995 Noise and Vibration Conference**, 951370, 1995. CD-ROM.
- CIVILLE, G. V.; SELTSAM, J. Sensory evaluation methods applied to sound quality. **Noise Control Engineering Journal**, Volume 51, Number 4, p. 262-270, 2003 July-August.
- COLOSIO, M. A.; ANDRADE, A. H. P. de; SANTOS, J. C. dos. Uma visão Geral de Falhas de Componentes Automotivos. In: CONGRESSO SAE BRASIL 2000, 3 a 5 de outubro de 2000, São Paulo. Artigo número 2000-01-3231.
- CORTEX INSTRUMENTS GmbH. **VIPER — Visual Perception of Audio Signals**, programa de computador, V3.14 Demo for Win 2000/XP, Item “Help”, 2003.
- EBBITT, G. L. **A Survey of Sound Quality in the United States Automotive Industry**. Disponível em: <[www.ince-j.or.jp/pdf/Original.pdf](http://www.ince-j.or.jp/pdf/Original.pdf)>. Acesso em: 11 de abril de 2005.
- FASTL, H. The Psychoacoustics of Sound-Quality Evaluation. **ACUSTICA - acta acustica**, Vol. 83, p. 754-764, 1997.
- FERREIRA, A. B. de H. **Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa**. 3. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999. 2128 p.
- FLANAGAN, J. L. **Speech Analysis, Synthesis and Perception**. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 1972. Citado por: ROEDERER, J. G. **Introdução à física e psicofísica da música**. Tradução de Alberto Luis da Cunha. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998, p. 45. Título original: Introduction to the physics and psychophysics of music.

- FLETCHER, H.; MUNSON, W. A. Loudness, its Definition, Measurement and Calculation. **Journal of the Acoustical Society of America**, 5, p. 82, 1933. Citado por: ROEDERER, J. G. **Introdução à física e psicofísica da música**. Tradução de Alberto Luis da Cunha. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998, p. 134. Título original: Introduction to the physics and psychophysics of music.
- GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.
- (Org.). **Ruídos e Vibrações Veiculares**. 1. ed. Florianópolis: NR Editora, 2005, 732 p.
- GUSKI, R. Psychological Methods for Evaluating Sound Quality and Assessing Acoustic Information. **ACUSTICA - acta acustica**, Vol. 83, p. 765-774, 1997.
- HAMILTON, D. Sound Quality of Impulsive Noises: An Applied Study of Automotive Door Closing Sounds. In: NOISE & VIBRATION CONFERENCE & EXPOSITION, 1995, Traverse City, MI, USA. **Proceedings of the 1999 Noise and Vibration Conference**, 1999-01-1684, 1999. CD-ROM.
- HASTINGS, A., et al. Measurement of the attributes of complex tonal components commonly found in product sound. **Noise Control Engineering Journal**, Volume 51, Number 4, p. 195-209, 2003 July-August.
- HEAD acoustics GmbH. **ArtemiS**, programa de computador, Version 6.0.200, Item "Help", 2004.
- HEINRICHS, R.; BODDEN, M. Perceptual and instrumental description of the gear rattle phenomenon for diesel vehicles. In: SIXTH INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION, 5-8 July 1999, Copenhagen, Denmark, p. 3103-3112.
- HOUAISS, A., et al. **Dicionário inglês-português**. 14. ed. Rio de Janeiro: Record, 2003. 928 p.
- HOWELL, D. C. **Statistical methods for psychology**. 3. ed. Belmont: Duxbury Press, 1992. 693 p.
- ILMONIEMI, M.; VÄLIMÄKI, V.; HUOTILAINEN, M. Subjective Evaluation of Musical Instrument Timbre Modifications. In: JOINT BALTIC-NORDIC ACOUSTICS MEETING 2004, 8-10 June 2004, Mariehamn, Åland, Finland. Disponível em: <<http://www.acoustics.hut.fi/asf/bnam04/webprosari/onlineproc.html>>. Acesso em 11 de abril de 2006.
- KIDD, G. R.; WATSON, C. S. The perceptual dimensionality of environmental sounds. **Noise Control Engineering Journal**, Volume 51, Number 4, p. 216-231, 2003 July-August.
- KIM, S., et al. The Sound Quality Evaluation of an Automotive HVAC System. In: INTER-NOISE 2005, THE 2005 CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 07-10 August 2005, Rio de Janeiro, Brazil. **Proceedings of the 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering**, 2005. CD-ROM.

- KOMPELLA, M. S.; BERNHARD, R. J. Variation of structural-acoustic characteristics of automotive vehicles. **Noise Control Engineering Journal**, Volume 44, Number 2, p. 93-99, 1996 Mar-Apr.
- LIMA, F. R. Qualidade Sonora – Conceitos Básicos. In: GERGES, S. N. Y. (Org.). **Ruídos e Vibrações Veiculares**. 1. ed. Florianópolis: NR Editora, 2005. Capítulo 6.
- Longman concise English dictionary**. Harlow: Longman, 1985. 1651 p.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. Tradução de Verônica Calado. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2003. 463 p. Título original: Applied Statistics and Probability for Engineers.
- NUNES, A.; LIMA, D. B. S.; PIVA, J. I. Vehicle Noise Targets Definition and Sound Quality Improvement Through Acoustic Quality Analysis Tools. In: SAE BRASIL 99, 1999, São Paulo. Artigo número 1999-01-3032.
- NUNES, A.; PIVA, J. I.; PADILHA, E. F. Avaliação Acústica do Veículo através de Parâmetros Objetivos de Qualidade Sonora. In: CONGRESSO SAE BRASIL 2000, 3 a 5 de outubro de 2000, São Paulo. Artigo número 2000-01-3288.
- NUNES, R. A. dos S. **Avaliação do ruído de compressores herméticos e de sistemas de refrigeração através da qualidade sonora**. 2001. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- OHSASA, Y.; KADOMATSU, K. A. Sound Quality Evaluation of Exhaust Note During Acceleration. In: NOISE & VIBRATION CONFERENCE & EXPOSITION, 1995, Traverse City, MI, USA. **Proceedings of the 1995 Noise and Vibration Conference**, 951314, 1995. CD-ROM.
- OSGOOD, C. E.; SUCL, G. J.; TANNENBAUM, P. H. **The measurement of meaning**. 9th printing. Urbana: University of Illinois Press, 1975. 346 p.
- OTTO, N., et al. Guidelines for Jury Evaluations of Automotive Sounds. **Sound and Vibration**, Vol. 35, n. 4, p. 24-47, April 2001.
- PAUL, S. A First Exploration of Auditory Descriptors for Brazilian Portuguese. In: INTER-NOISE 2005, THE 2005 CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 07-10 August 2005, Rio de Janeiro, Brazil. **Proceedings of the 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering**, 2005. CD-ROM.
- PLOMP, R.; BOUMAN, M.A. Relation between Hearing Threshold and Duration for Tone Pulses. **Journal of the Acoustical Society of America**, 31, p. 749, 1959. Citado por: ROEDERER, J. G. **Introdução à física e psicofísica da música**. Tradução de Alberto Luis da Cunha. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998, p. 141. Título original: Introduction to the physics and psychophysics of music.

- ROEDERER, J. G. **Introdução à física e psicofísica da música**. Tradução de Alberto Luis da Cunha. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998. 310 p. Título original: Introduction to the physics and psychophysics of music.
- ROSA, J. G. **Grande sertão: veredas**. 10. ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1976, p. 319.
- ROUSSARIE, V., et al. What's so hot about sound? – influence of HVAC sounds on thermal comfort. In: INTER-NOISE 2005, THE 2005 CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 07-10 August 2005, Rio de Janeiro, Brazil. **Proceedings of the 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering**, 2005. CD-ROM.
- SHIN, S.; IH, J.; JEONG, H. Statistical processing of subjective listening test data for PSQ. **Noise Control Engineering Journal**, Volume 51, Number 4, p. 232-238, 2003 July-August.
- SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica para as ciências do comportamento**. Tradução de Alfredo Alves de Farias. São Paulo: Editora McGraw-Hill Ltda, 1975. 350 p. Título original: Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences.
- SOUZA, J. de. Em torno do ensino de estatística nos cursos de base psicossocial. In: PASQUALI, L. (Org.). **Teoria e métodos de medida em ciências do comportamento**. Brasília: INEP, 1996. p. 159-171.
- VON BÉKÉSY, G. **Experiments in Hearing**. New York, McGraw-Hill Book Company, 1960. Citado por: ROEDERER, J. G. **Introdução à física e psicofísica da música**. Tradução de Alberto Luis da Cunha. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998, p. 49. Título original: Introduction to the physics and psychophysics of music.
- ZHANG, L.; VÉRTIZ, A. What Really Affect Customer Perception? — A Window Regulator Sound Quality Example. In: NOISE & VIBRATION CONFERENCE & EXPOSITION, 1997, Traverse City, MI, USA. **Proceedings of the 1997 Noise and Vibration Conference**, 971909, 1997. CD-ROM.
- ZWICKER, E.; FASTL, H. **Psychoacoustics: Facts and Models**. 2nd Edition. Berlin: Springer-Verlag, 1999. 416 p.
- ZWICKER, E.; TERHARDT, E. Analytical expressions for critical-band rate and critical bandwidth as a function of frequency. **Journal of the Acoustical Society of America**, 68(5), p. 1523-1525, Nov. 1980.

*APÊNDICE A – Correspondentes em  
inglês das denominações  
das métricas  
psicoacústicas e de outros  
termos amplamente  
empregados em qualidade  
sonora*

Sabe-se que, em acústica, a maioria dos artigos e livros estão escritos em inglês. Com isso, algumas palavras, principalmente as que denominam as métricas da psicoacústica, não têm correspondentes em português. Nesta dissertação, porém, optou-se por evitar o uso de termos em língua estrangeira, traduzindo-os sempre que possível. Assim, usou-se “aspereza” ao invés de “roughness”. Mas, para evitar dúvidas e orientar os leitores, criou-se este apêndice: uma lista daqueles termos amplamente usados em inglês mas que não têm uma forma consolidada em português; e também de outros que a têm — para ajudar o leitor quando for buscar as referências em inglês. É o que mostra a Tabela A.1.

Tabela A.1: Correspondentes em inglês das denominações das métricas psicoacústicas e de outros termos amplamente empregados em qualidade sonora

Termo em português	Correspondente em inglês
agudeza	sharpness
aspereza	roughness
banda crítica	critical bandwidth
CAVA (condicionamento de ar, ventilação e aquecimento)	HVAC (heating, ventilating and air conditioning)
comparação pareada	paired comparison
diferencial semântico	semantic differential
estimativa de magnitude	magnitude estimation
índice de articulação	articulation index
índice de banda crítica	critical band rate
índice de inteligibilidade da fala	speech intelligibility index
intensidade de flutuação	fluctuation strength
limiar da diferença	difference thresholds
ordenamento	rank order
proeminência	prominence
razão tom-ruído	tone-to-noise ratio
testes não-paramétricos	nonparametric tests or distribution-free tests
tonalidade	tonality

## *APÊNDICE B – Questionário 1*

O questionário utilizado na primeira avaliação subjetiva é apresentado nas páginas seguintes.

Universidade Federal de Santa Catarina – Laboratório de Vibrações e Acústica  
Pesquisador: Ricardo Penna Leite – e-mail: penna@emc.ufsc.br  
Telefone: (48) 3331-9227 ramal 34

## Avaliação subjetiva 01

Obrigado por participar desta pesquisa. As informações aqui prestadas são confidenciais e só serão utilizadas nesta pesquisa.

Data da realização da avaliação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Qual a sua idade? R: \_\_\_\_\_

Sexo:  M  F

Você tem experiência em avaliações subjetivas de sons?  S  N

Caso positivo, por favor, detalhe um pouco mais no espaço abaixo.

Você trabalha com acústica?  S  N

Caso positivo, por favor, detalhe um pouco mais no espaço abaixo (a área em que trabalha, se tem experiência em psicoacústica ou qualidade sonora, etc.).

Você possui carro?  S  N

Caso negativo, a sua família possui algum carro que você sempre dirija?  S  N

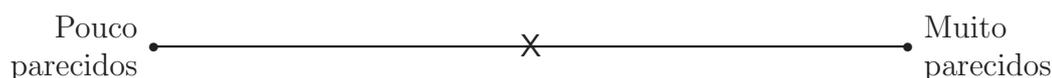
A finalidade deste teste é avaliar subjetivamente os sons do sistema de ventilação de automóveis. É importante que você seja honesto nas suas respostas. Tenha em mente que não existem respostas certas ou erradas.

Serão apresentados a você 34 pares de sons. Cada som do par terá cinco segundos. Após ouvir um desses pares com atenção, você deverá decidir se eles são  *muito parecidos*,  *pouco parecidos*, ou se apenas são  *mais ou menos parecidos*. Haverá uma linha em que estará escrito, em uma extremidade, “Muito parecido” e, na outra, “Pouco parecido”. Você deverá marcar na linha o ponto que melhor corresponde à sua impressão.

Por exemplo, após ouvir um par de sons você concluiu que eles são parecidos, mas não muito. Marque então na linha o ponto correspondente à sua impressão:



Mas se você concluiu que eles são mais ou menos parecidos, você poderá marcar na região central da linha:



Se, ao contrário, você concluiu que eles são pouco parecidos, marque na linha o ponto que melhor representa a sua impressão:



Você poderá também marcar nas extremidades da linha, conforme achar conveniente:



O par poderá ser tocado novamente sempre que você achar necessário. Haverá também um espaço para eventuais comentários que você queira fazer.

A duração deste teste é de cerca de meia hora.

Este teste terá três etapas:

1. **Treinamento.** Será uma pequena simulação do teste, para que você se familiarize com ele.
2. **Conhecendo os sons.** Os sons que farão parte do teste lhe serão apresentados.
3. **Avaliação subjetiva.** Finalmente, os pares da avaliação subjetiva lhe serão apresentados.

## 1 Treinamento

Três pares lhe serão apresentados. Escute-os com atenção e marque na linha o ponto que melhor corresponde à sua impressão.

Treinamento – 1º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

Treinamento – 2º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

Treinamento – 3º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

## 2 Conhecendo os sons

Os sons que farão parte do teste lhe serão apresentados agora, para que você os conheça antes de avaliá-los.

## 3 Avaliação subjetiva

Esta avaliação terá 34 pares de sons. Escute-os com atenção e marque na linha o ponto que melhor corresponde à sua impressão.

1º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

2º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

3º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

4º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

5º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

6º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

7º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

8º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

9º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

10º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

11º par

Pouco  
parecidos



Muito  
parecidos

Comentários:

12º par

Pouco  
parecidos



Muito  
parecidos

Comentários:

13º par

Pouco  
parecidos



Muito  
parecidos

Comentários:

14º par

Pouco  
parecidos



Muito  
parecidos

Comentários:

15º par

Pouco  
parecidos



Muito  
parecidos

Comentários:

16º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

17º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

18º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

19º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

20º par

Pouco  
parecidos

Muito  
parecidos

Comentários:

21º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

22º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

23º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

24º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

25º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

26º par

Pouco  
parecidosMuito  
parecidos

Comentários:

27º par

Pouco  
parecidosMuito  
parecidos

Comentários:

28º par

Pouco  
parecidosMuito  
parecidos

Comentários:

29º par

Pouco  
parecidosMuito  
parecidos

Comentários:

30º par

Pouco  
parecidosMuito  
parecidos

Comentários:

31º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

32º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

33º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

34º par

Pouco parecidos ————— Muito parecidos

Comentários:

Comentários gerais:



*APÊNDICE C – Respostas dos sujeitos na  
primeira avaliação  
subjetiva*

Este apêndice apresenta as respostas da primeira avaliação subjetiva. A Tabela C.1 mostra do sujeito um ao quatorze e a Tabela C.2 mostra do sujeito quinze ao vinte e sete.

Tabela C.1: Resposta da primeira avaliação subjetiva, do sujeito um ao quatorze.

Par	Sujeitos													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	6,5	5	7,8	4,4	10	7,5	9,2	5,7	7,3	1	8,3	9,7	7,5	6,8
2	3,6	2	6,8	0	7,2	3,7	3,3	3,3	4,6	0,7	6	6,9	0,3	2
3	3,3	4,5	8,5	7,3	10	8,5	4	4,9	5,8	9,9	6,1	8,5	3,4	8,7
4	9,4	2,4	9,8	6,3	8,3	9	7	5,8	9,8	9,5	7,9	9,8	4,9	8,9
5	7,7	7,6	9,5	6,2	4,8	9,2	4,6	7	8,7	0,6	2,8	9,7	4,6	6,8
6	1,9	0	1,5	0,2	0,5	2,8	0,4	2,2	3,8	4,4	0,6	1,5	0,3	1,7
7	6,1	4,9	5,3	9,8	8,7	7,8	6,5	6	8,6	1,5	6,8	9,7	9,6	8,5
8	7,3	10	3,8	5,1	4,9	9,4	2,4	3,8	9,5	9,6	0,5	9,6	1,4	9,5
9	6,4	1,7	3,2	0,4	0,5	7	4,8	1,7	7,5	9,8	0,7	6,4	1,2	8,5
10	3,2	1,5	6,5	9,4	0,9	5	2,2	4,8	7,3	1,1	0,9	8,7	9,1	7,7
11	6,4	2,3	6,8	1,3	8,4	5,1	4	7,1	8,7	1,2	8,5	9	8,3	8,5
12	0,9	1,7	2,7	2,7	3,5	2,9	0,9	5,6	9,1	4,4	0,4	4,7	1	1,5
13	7,6	10	8,6	8,8	8,7	6,3	9,8	6,4	9,7	9,8	8,5	9,8	8,7	9,4
14	2,9	4,8	1,7	1,2	5	2,3	0,6	4,9	8,2	9,8	0	5,5	1,8	2,9
15	9	5	6	0,7	9,8	6,8	7,5	6,6	5,5	10	4,3	1,1	3,4	5,3
16	7,3	7,4	9,3	2,5	8,4	7,5	9,7	7,5	6,7	4,8	9,8	9,1	8,5	7,3
17	3,4	4,7	7,4	6,8	3,3	5,4	7,3	5,9	7,8	9,7	2,5	9,2	3,2	6,6
18	1,6	0	1,6	1,3	0,6	1,8	0,2	0,9	2,9	4,5	0,1	0,8	0,3	0,9
19	5	10	5,7	3,3	9,4	7,6	5,1	6,5	7,1	1,2	9,5	9,4	9,7	9
20	3,1	4,7	4,7	2,5	6,9	2,8	3	2,3	6,4	9,2	1,2	5,2	1,2	5,5
21	4,7	7,5	2,9	3,3	10	8,7	4,8	5,9	9,2	10	3	9,8	9,3	7,9
22	6	1,7	7,4	1,5	3,9	4	8,8	3,9	8,3	0,6	0	9,5	6,9	6,8
23	3,6	5	2,2	2,1	1,3	8	7,6	1,8	7	4,8	8,3	1,4	8	7,6
24	2,4	0	1	1,5	1,1	1,2	0,2	7,6	3,5	5,4	1,3	0,2	0,5	3
25	2	2,7	4,3	3,9	0,7	5,8	7,7	1,8	6,8	4,8	7,2	6	4,3	3,4
26	7,7	5,3	7,5	3	3,5	6,2	4,9	6,6	9,5	2,1	1,5	9,6	2,2	6,6
27	0,5	0	0,3	0,2	0,7	1,7	0,3	0,3	2,4	5	0	0,8	0,2	6,3
28	8,3	4,7	9	7,8	9,3	7,8	5,1	9,2	9	1,4	9,4	9,7	8,8	6,2
29	5,2	2,3	3,5	8,8	9	8	6,8	9,5	7,3	5	2,4	5,6	3,3	4,2
30	8,5	10	9,5	8	9,3	6,2	10	4,9	8,9	7,4	7	9,6	7,2	6,4
31	0,1	0	0,3	2,2	0	0,9	0,1	0,2	2,4	4,9	0	0,1	0,7	0
32	8,6	2,3	7,2	6	4,7	5,8	10	8,8	6,3	4,6	6	4,6	3,4	6,2
33	3,4	2,4	3	1,3	1,4	3,9	4,9	9,4	5	2	1,8	7,2	2,8	5,1
34	6	7,9	8,3	7,6	9,7	8,3	5	4,8	6,6	8,7	8,2	9	8	3,7

Tabela C.2: Resposta da primeira avaliação subjetiva, do sujeito quinze ao vinte e sete.

Par	Sujeitos												
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	10	5,8	5,8	7,3	3,3	6,6	10	8,5	4,5	4,4	8,3	2,7	6,2
2	5,5	3,5	7,3	2,5	1,7	1,5	0,9	8,3	1,2	1,5	2,3	5,3	3,7
3	9,5	7,2	9,8	7,9	4,7	6,8	10	4,7	9,4	5,1	8,3	8,7	9,6
4	9,8	9,9	9,8	9,6	8,5	6,5	10	5,5	4	9,5	9,2	9,9	10
5	7,7	8,8	9,8	7,9	10	4,6	10	7,4	2,4	8,4	9,3	4,9	9,9
6	1,5	1,9	1,2	0,1	0	1,7	0	0,3	0	1,1	0,4	0,2	3
7	7,4	7,7	9,7	9,3	4,6	7,3	8,8	0,3	6,8	9,8	9,2	8,6	5,7
8	9,3	8,7	4,2	5	8,5	7,5	10	4,6	2,4	2,2	9,6	6,4	9
9	8,6	8,4	1,8	3,1	1,6	3	8,5	5,5	1,4	1,3	9,1	1	1,4
10	7,3	6,5	6,9	7,2	1,9	3,7	10	8,3	4	4,1	9,6	7	3,9
11	8,6	6,7	8,7	6,2	7,5	8,3	10	5,7	0,9	6,2	6,5	7,9	8
12	4,5	2,7	5	3,1	1,6	5,2	4,6	0,1	1,3	1,4	5,3	1,9	0
13	8,7	8,5	9,5	8,5	10	9,6	10	4,9	7,3	4,5	8,3	9,7	3,7
14	8,2	2	3,7	4,8	10	5	0	0,9	1,6	2,8	5,3	9,3	1
15	1,3	2,6	8	9,3	2,6	6,1	4,8	4,6	8,6	6,5	8,7	9	0,4
16	7,7	2,2	8,6	9,3	4,7	5,1	10	1	4,3	8,2	9,6	1,3	1
17	7,8	7,6	7	7,2	4,7	4,2	5	6,3	1,5	7	8,9	4,6	7,5
18	0,7	0,1	2,7	1,1	0	2,2	0	0,2	0	0,5	2	0,1	0
19	4,4	8,7	8,7	9,3	10	5	10	4,3	7,6	9	9,6	9	9,2
20	4,3	3,4	1,9	2,5	1,1	2,8	5,2	0,6	1,5	6,6	5,4	6,5	2,9
21	10	8,9	9,3	9,8	8,8	2,3	4,6	6,4	4,8	8,8	8,7	8,8	9,7
22	5	4,5	6,5	6,9	1,5	4,9	10	8,4	2,3	5,2	8	4	1,1
23	2,3	7,6	0,4	1,3	1,7	1,7	0	0,5	0	1,4	8,6	7,8	5,8
24	1,2	3,1	0,2	0,2	0	2,6	0	0,2	0	1,3	4,5	1	5
25	0,8	8	4,7	3	1,8	4,8	0	3,4	1,5	8,6	5,7	3,2	3
26	9,6	7,4	7,7	8	4,3	6,1	10	4,3	8,2	9,5	8,5	7,4	7,9
27	1,5	2,1	0,2	0,1	0	0,8	0	0	0	1,6	2,6	0	0
28	8,5	7,3	9,8	8,5	8,7	5,1	10	0,8	0,9	7,4	9,5	9,7	9,4
29	6	4,8	2	7,3	2,3	5,4	5,2	2,5	1	2,7	7,5	0,1	7,7
30	9,5	8,1	8,3	9	9	7,1	10	8,7	10	9,5	9,4	4,5	9,5
31	0	1,1	1,6	0,1	0	0,3	0	0	0	0,3	0,5	0	0
32	2,3	7,3	2,8	8,5	2,2	4,7	5	7,6	1	4,8	7,5	10	5,3
33	7,7	2,1	2,5	7,6	1,7	6,4	4,9	0,1	8,8	6,3	6,3	9,3	2,5
34	7,8	7,1	6,5	5	2,8	4,7	10	1	7,7	2	9,6	9,3	5,7



## *APÊNDICE D – Valores das métricas psicoacústicas dos sons da primeira avaliação subjetiva*

Este apêndice apresenta os valores das métricas psicoacústicas dos sons da primeira avaliação subjetiva. As Tabelas D.1 (lado direito) e D.2 (lado esquerdo) referem-se ao grupo 1. As Tabelas D.3 (lado direito) e D.4 (lado esquerdo) referem-se ao grupo 2. As Tabelas D.5 (lado direito) e D.6 (lado esquerdo) referem-se ao grupo 3. As Tabelas D.7 (lado direito) e D.8 (lado esquerdo) referem-se ao grupo 4. E as Tabelas D.9 (lado direito) e D.10 (lado esquerdo) referem-se ao grupo 5.

Tabela D.1: Grupo 1, lado direito, modelo *Simples, Pé-4*

Carro	013	009	010	011	012
<i>loudness</i> (soneGD)	30,6	33,4	32,2	32,3	31,7
agudeza (acum)	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5
intensidade de flutuação (cVacil)	3,7	4	5,6	4,5	2,9
aspereza (cAsper)	31,5	34	34,6	34,1	32
razão tom-ruído (dB)	0	0	0	0	0
proeminência (dB)	3,8	4,2	4,4	4,3	4,8
frequência da proeminência (Hz)	172	159	172	194	1098

Tabela D.2: Grupo 1, lado esquerdo, modelo *Simples, Pé-4*

Carro	013	009	010	011	012
<i>loudness</i> (soneGD)	32,1	35,3	32,9	34,2	32,1
agudeza (acum)	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5
intensidade de flutuação (cVacil)	2,4	3,1	3	3,4	2,2
aspereza (cAsper)	34,8	33,8	34,2	38,8	32,3
razão tom-ruído (dB)	0	0	0	0	-2,5
proeminência (dB)	4,4	5,6	3,5	3,3	4,8
freqüência da proeminência (Hz)	347	347	159	194	347

Tabela D.3: Grupo 2, lado direito, modelo *Ar-condicionado, Pé/Pára-brisa-4*

Carro	008	001	002	003	004	005	006	007
<i>loudness</i> (soneGD)	27	23,5	27,5	25,4	28,1	27,7	30,2	29,2
agudeza (acum)	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
intensidade de flutuação (cVacil)	6,2	6,1	6	4,1	6,4	5,6	5,3	5,2
aspereza (cAsper)	31,5	30,1	28,5	30,8	30,4	31,1	30,3	33,2
razão tom-ruído (dB)	0	0	1,5	0	0	0	0	0
proeminência (dB)	7,4	7,3	5,6	3,9	4,2	4,4	5,6	4,3
freqüência da proeminência (Hz)	172	159	684	172	159	159	159	159

Tabela D.4: Grupo 2, lado esquerdo, modelo *Ar-condicionado, Pé/Pára-brisa-4*

Carro	008	001	002	003	004	005	006	007
<i>loudness</i> (soneGD)	26,5	23	27,1	26,4	28,8	28,8	31,3	30,4
agudeza (acum)	1,2	1,2	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
intensidade de flutuação (cVacil)	5	4,8	4,3	3	5,5	4,1	4,8	4,1
aspereza (cAsper)	30,9	29	29,9	30,2	30,8	32,2	33	31,9
razão tom-ruído (dB)	0	0	0	0	0	0	0	0
proeminência (dB)	6,8	6,9	4,4	3,4	4	3,9	4,8	3,7
freqüência da proeminência (Hz)	172	159	205	336	159	347	159	347

Tabela D.5: Grupo 3, lado direito, modelo *Ar-condicionado, Frente-2*

Carro	005	001	002	003	004	006	007	008
<i>loudness</i> (soneGD)	12,5	9,4	12,7	12,1	12,8	13,1	13	10,6
agudeza (acum)	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1
intensidade de flutuação (cVacil)	3,3	2,6	4,1	3	4,1	2,1	3,4	2,3
aspereza (cAsper)	24,2	22,2	24,3	25,7	23	23,6	24,1	23,9
razão tom-ruído (dB)	0	0	0	0	0	0,3	0,4	0
proeminência (dB)	3,6	2,6	3,2	3,4	4,5	3,5	3,3	2,9
frequência da proeminência (Hz)	1370	1825	223	751	1456	824	2355	1370

Tabela D.6: Grupo 3, lado esquerdo, modelo *Ar-condicionado, Frente-2*

Carro	005	001	002	003	004	006	007	008
<i>loudness</i> (soneGD)	12,6	9	12,6	12	12,6	12,8	12,7	10
agudeza (acum)	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1
intensidade de flutuação (cVacil)	4,4	2,3	4,7	2,4	3,9	2,2	2,6	2,2
aspereza (cAsper)	24,5	21,4	25	25,4	26,1	23,6	26	23,5
razão tom-ruído (dB)	0	0	0	0	0	0	0	0
proeminência (dB)	4,5	2,5	4,2	3,7	3,9	3,5	3,8	4
frequência da proeminência (Hz)	9825	2463	223	2740	347	2657	2700	2538

Tabela D.7: Grupo 4, lado direito, modelo *Simples, Pára-brisa-2*

Carro	013	009	010	011	012
<i>loudness</i> (soneGD)	16,5	17,7	17,5	18	18
agudeza (acum)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
intensidade de flutuação (cVacil)	5,9	6,7	7,1	6,4	5,8
aspereza (cAsper)	30,4	31,4	29,3	30,8	31,3
razão tom-ruído (dB)	0	0	4,5	-2,1	2,9
proeminência (dB)	7,7	7,7	7,1	8,6	7
frequência da proeminência (Hz)	159	172	159	159	159

Tabela D.8: Grupo 4, lado esquerdo, modelo *Simplex*, *Pára-brisa-2*

Carro	013	009	010	011	012
<i>loudness</i> (soneGD)	17	17,8	16,9	17,6	17,1
agudeza (acum)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3
intensidade de flutuação (cVacil)	2,6	3,5	3,7	4	3,1
aspereza (cAsper)	25,2	24,7	23,8	28,7	27
razão tom-ruído (dB)	-3,1	0	0,4	-1,9	0
proeminência (dB)	6,9	6,5	6,7	7,4	5,2
frequência da proeminência (Hz)	347	347	347	159	159

Tabela D.9: Grupo 5, lado direito, modelo *Simplex*, *Pé-4*

Carro	013						
Saída de ar	<i>Pé</i>	<i>Pé</i>	<i>Pé</i>	<i>Pé</i>	<i>Pára-brisa</i>	<i>Frente</i>	<i>Pé/Pára-brisa</i>
Velocidade de ventilação	4	1	2	3	4	4	4
<i>loudness</i> (soneGD)	30,6	8,6	14,9	22,4	36	34	32,1
agudeza (acum)	1,4	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4
intensidade de flutuação (cVacil)	3,7	2,5	2,5	3,3	8,5	4,9	7,6
aspereza (cAsper)	31,5	22,4	26,5	27,6	37,9	33,5	30,7
razão tom-ruído (dB)	0	0	0	0	0	0	0
proeminência (dB)	3,8	4,7	4,3	4,7	7,3	4,8	7,1
frequência da proeminência (Hz)	172	159	358	159	172	159	172

Tabela D.10: Grupo 5, lado esquerdo, modelo *Simplex*, *Pé-4*

Carro	013						
Saída de ar	<i>Pé</i>	<i>Pé</i>	<i>Pé</i>	<i>Pé</i>	<i>Pára-brisa</i>	<i>Frente</i>	<i>Pé/Pára-brisa</i>
Velocidade de ventilação	4	1	2	3	4	4	4
<i>loudness</i> (soneGD)	32,1	9	15,9	23,3	35,5	34,4	34,1
agudeza (acum)	1,5	1,1	1,2	1,4	1,4	1,5	1,4
intensidade de flutuação (cVacil)	2,4	2	2,5	2,2	3,3	3,2	3,4
aspereza (cAsper)	34,8	22,3	26,1	30,8	33,7	32,9	34,5
razão tom-ruído (dB)	0	1,1	0,1	0	0	0	-0,6
proeminência (dB)	4,4	5,2	7,6	4,5	5,1	3,5	5
frequência da proeminência (Hz)	172	159	347	347	159	159	347

## *APÊNDICE E – Comentários feitos pelos sujeitos na primeira avaliação subjetiva e observações do avaliador*

Neste apêndice encontram-se todos os comentários feitos pelos sujeitos na primeira avaliação subjetiva e as observações feitas pelo avaliador.

### **E.1 Comentários feitos pelos sujeitos para cada par**

**Par 1:** “Sons bem agudos em destaque”; “O segundo som parecia ser mais alto”.

**Par 2:** “2º: componente tonal”; “O 2º possui harmônico (uma vibração)”; “O segundo era mais alto”.

**Par 3:** “Parecido, mas o segundo parecia ‘abafado’ ”

**Par 4:** Não houve comentários.

**Par 5:** “O 2º é um pouco mais rico em frequências altas (agudo)”

**Par 6:** “1º - menos grave, mais agudo, 2º - mais grave, menos agudo”; “Nada parecido”.

**Par 7:** Não houve comentários.

**Par 8:** “Quase iguais”; “2º mais rico em frequências abaixo de 63 Hz”; “Varia somente o volume”.

**Par 9:** “2º - nível mais baixo”; “Varia somente o volume”; “O som em si parecia muito, mas o segundo tinha o volume muito menor”.

**Par 10:** “2º: componente tonal”; “O segundo parecia mais ‘aberto’ ”.

**Par 11:** “O 2º tem ênfase (pouca) em algumas frequências altas”; “O segundo parecia apenas ter um pouco mais de volume”.

**Par 12:** “2º mais grave e mais baixo que o 1º”; “Cansado, sons con????”.

**Par 13:** Não houve comentários.

**Par 14:** “1º mais grave”; “2º mais médio”; “Intervalo final do som distingue?”.

**Par 15:** “Mesmo nível, espectro pouco diferente”; “Falho?”; “Ambos são “suaves”, mas o primeiro parecia mais ainda”.

**Par 16:** “Ligeira diferença”.

**Par 17:** “O primeiro som é mais agradável”; “1º mais agudo, 2º com aleatoriedade mais rápida”; “Som alto, desconforto físico”; “Pouca diferença”.

**Par 18:** “1º mais grave, 2º mais agudo”.

**Par 19:** Não houve comentários.

**Par 20:** “1º mais grave, 2º mais agudo”; “O segundo som parece ser produzido em um encanamento mais estreito”.

**Par 21:** “Níveis baixos”; “Tranquilo exp 2”.

**Par 22:** “Parecidos - níveis diferentes”; “Há um componente a mais no segundo som”.

**Par 23:** “Níveis diferentes”; “São até parecidos, mas o segundo possui menor volume”.

**Par 24:** “2º mais grave menos agudo, 1º menos grave mais agudo”.

**Par 25:** “2º - nível maior que o 1º”; “2º mais alto”; “Maior volume no segundo”.

**Par 26:** “2º com vibração - zumbido, nível pouco mais baixo que o 1º”; “Há algum componente diferente entre os dois sons”.

**Par 27:** “2º com vibração - zumbido, nível bem mais baixo que o 1º”.

**Par 28:** “1º levemente mais agudo”.

**Par 29:** “1º mais grave que o 2º”; “O som parecia, mas o segundo era algo mais ‘duro’ ”.

**Par 30:** “Níveis baixos, 2º com zumbido - ruído vibração”.

**Par 31:** “1º nível alto mais agudo menos grave, 2º nível baixo mais grave menos agudo”; “Sons não parecidos, além da diferença de volume”.

**Par 32:** “2º - nível pouco mais alto, ênfase freqüência médio-grave”; “O segundo é mais ‘áspero’ ”.

**Par 33:** “1º mais médio mais alto nível, 2º mais grave mais baixo nível”; “Segundo som mais ‘abafado’ ”.

**Par 34:** “Intervalo entre os stm maiores”; “Segundo som mais ‘aberto’ ”.

## E.2 Comentários gerais feitos pelos sujeitos

“A diferença foi de intensidade, na maioria das vezes. Outras vezes, em um dos sons observei que parecia mais abafado do que o outro.”

“Escala de agradabilidade!”

“Existe um zumbido em determinado?”

“Os sons com componentes agudas são muito mais incômodos.”

“Teste muito demorado.”

“Graves - ruídos não incomodam; agudos - ruídos incomodam muito.”

“É difícil decidir qual efeito maior para dizer pouco ou muito parecidos. Alguns exemplos têm níveis diferentes, outros um pouco dB, mas muito diferente sharpness e componentes tonais.”

## E.3 Observações do avaliador

As observações feitas pelo avaliador referem-se tanto ao comportamento dos sujeitos quanto às condições da avaliação (calor, ruído externo, etc). Também foram anotados comentários e dúvidas dos sujeitos feitas verbalmente.

**Sujeito 3:** Barulho de vento (uivos), marteladas, chiado de uma obra, não estava quente.

**Sujeito 4:** O sujeito fez observações técnicas, perguntou se a diferença seria de volume ou espectro. Durante a apresentação dos sons, o sujeito ficou conversando e falando sobre o carro; ficou também mexendo no carro, apertando botões, etc.

**Sujeito 5:** Pássaros piando, mas o ambiente estava silencioso. Sujeito se distraía mexendo nas coisas do carro: maçaneta, controles, etc.

**Sujeito 7:** O sujeito declarou não estar ouvindo bem do ouvido direito, por causa de uma gripe. Estava com a aparência de cansado.

**Sujeito 8:** Havia pessoas conversando na sala ao lado; calor.

**Sujeito 9:** O sujeito sugeriu que se apresentassem sons antes como referência do que é muito parecido ou muito diferente. Teste foi tranquilo, sem grandes perturbações. Ao ler o questionário, ele deduziu que era para comparar o lado esquerdo com o direito, e não o primeiro com o segundo som, e fez essa pergunta parar tirar a dúvida.

**Sujeito 11:** Havia uma betoneira parada e fazendo barulho (até o par 18). Fechamos as janelas do carro. O sujeito disse que este barulho não o atrapalhou a fazer a avaliação.

**Sujeito 12:** O sujeito perguntou que tipo de diferença era para avaliar, se de intensidade, de espectro ou os dois; mais tarde comentou que algum dos sons têm um tom perceptível (mas não usou exatamente com essas palavras).

**Sujeito 13:** O sujeito pediu para repetir quase todos os pares (com exceção do 13, 20, 22, 23, 25 e 27).

**Sujeito 14:** Horário tranquilo para avaliação (de noite). Pelo que conversei com o sujeito, o que ele me disse considerar como “componentes agudas” podem ser ou um tom ou a faixa de altas frequências.

**Sujeito 18:** Barulho de vento, de obra e alarme de carro.

**Sujeito 19:** O sujeito relatou interrupções no começo do primeiro som, em alguns pares.

**Sujeito 20:** Barulho de serra da obra durante alguns pares, mas o sujeito declarou que não atrapalhava, pois não dava para ouvi-lo quando o par era tocado.

**Sujeito 26:** Estava muito calor.

## *APÊNDICE F – Valores das variáveis de cada par*

Este apêndice apresenta os valores das variáveis  $\Delta loudness$ ,  $\Delta agudeza$ ,  $\Delta if$ ,  $\Delta aspereza$ ,  $\Delta rtr$ ,  $\Delta proem$ ,  $\Delta fp$ ,  $\Delta loud_I$ ,  $\Delta loud_{II}$ ,  $\Delta loud_{III}$ ,  $\Delta loud_{IV}$ ,  $\Delta loud_V$  e  $\Delta loud_{VI}$ , para todos os pares, cujo cálculo foi explicado na Seção 3.9.3.1 (página 78). As Tabelas F.1, F.2, F.3, F.4 e F.5 mostram as variáveis dos pares 1 ao 7, 8 ao 14, 15 ao 21, 22 ao 28 e 29 ao 34, respectivamente.

Tabela F.1: Valores das variáveis dos pares 1 ao 7.

Par	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta loudness$ (soneGD)	3	0,55	0,1	1	1,75	4,6	1,2
$\Delta agudeza$ (acum)	0,05	0,15	0	0	0,05	0,3	0,05
$\Delta if$ (cVacil)	0,5	0,45	0,55	0,85	2,45	2,55	1,25
$\Delta aspereza$ (cAsper)	0,75	2	0,3	0,25	0,55	1,95	1,25
$\Delta rtr$ (dB)	0	0,75	0	1,55	0,3	0	0
$\Delta proem$ (dB)	0,8	2,1	0,35	0,2	1,95	2,7	0,15
$\Delta fp$ (Hz)	6,5	272,5	5374,5	6,5	87,5	87,5	94
$\Delta loud_I$ (sone)	0,187	0,067	0,247	0,080	0,074	0,367	0,156
$\Delta loud_{II}$ (sone)	0,291	0,530	0,063	0,109	0,604	0,746	0,236
$\Delta loud_{III}$ (sone)	0,1146	0,1788	0,041	0,022	0,249	0,192	0,049
$\Delta loud_{IV}$ (sone)	0,112	0,184	0,029	0,044	0,0489	0,354	0,069
$\Delta loud_V$ (sone)	0,105	0,072	0,026	0,029	0,025	0,297	0,0409
$\Delta loud_{VI}$ (sone)	0,096	0,099	0,023	0,031	0,021	0,358	0,038

Tabela F.2: Valores das variáveis dos pares 8 ao 14.

Par	8	9	10	11	12	13	14
$\Delta loudness$ (sone)	3,5	3,35	0,8	2,85	4,2	1,9	0,85
$\Delta agudeza$ (acum)	0,05	0,1	0,05	0	0	0,05	0,2
$\Delta if$ (cVacil)	0,15	1,4	0,2	1	0,4	0,9	2,05
$\Delta aspereza$ (cAsper)	1,65	2,55	1,35	0,05	3,45	3,3	0,7
$\Delta rtr$ (dB)	0	0	3	0	1,55	0	0
$\Delta proem$ (dB)	0	1,5	1,2	0,05	3,25	0,3	3,45
$\Delta fp$ (Hz)	13	3453,5	94	13	5344,5	65,5	82
$\Delta loud_I$ (sone)	0,342	0,267	0,037	0,145	0,401	0,128	0,110
$\Delta loud_{II}$ (sone)	0,449	0,191	0,0609	0,355	0,420	0,164	0,765
$\Delta loud_{III}$ (sone)	0,185	0,139	0,082	0,074	0,366	0,068	0,239
$\Delta loud_{IV}$ (sone)	0,136	0,143	0,0453	0,0576	0,214	0,132	0,032
$\Delta loud_V$ (sone)	0,119	0,135	0,049	0,100	0,115	0,037	0,072
$\Delta loud_{VI}$ (sone)	0,070	0,115	0,037	0,114	0,074	0,0789	0,115

Tabela F.3: Valores das variáveis dos pares 15 ao 21.

Par	15	16	17	18	19	20	21
$\Delta loudness$ (sone)	0,5	1,05	4,4	4,6	0,55	1,7	0,15
$\Delta agudeza$ (acum)	0	0	0,05	0,3	0,05	0,15	0
$\Delta if$ (cVacil)	1,15	0,95	2,85	2,55	0,5	0,35	0,15
$\Delta aspereza$ (cAsper)	1,2	1,95	2,65	1,95	1	0,6	0,2
$\Delta rtr$ (dB)	0	0,45	0	0	1,25	0	0
$\Delta proem$ (dB)	0,5	0,7	2,1	2,7	0,7	3	0,15
$\Delta fp$ (Hz)	3852	94	6,5	87,5	463	13	4696
$\Delta loud_I$ (sone)	0,127	0,0359	0,137	0,367	0,106	0,249	0,157
$\Delta loud_{II}$ (sone)	0,061	0,153	0,774	0,745	0,027	0,248	0,048
$\Delta loud_{III}$ (sone)	0,042	0,067	0,308	0,191	0,038	0,109	0,038
$\Delta loud_{IV}$ (sone)	0,053	0,061	0,068	0,354	0,059	0,055	0,032
$\Delta loud_V$ (sone)	0,018	0,030	0,084	0,297	0,032	0,133	0,018
$\Delta loud_{VI}$ (sone)	0,016	0,044	0,047	0,357	0,046	0,136	0,018

Tabela F.4: Valores das variáveis dos pares 22 ao 28.

Par	22	23	24	25	26	27	28
$\Delta loudness$ (sone)	0,45	8,5	4,2	1,5	0,4	15,95	1,2
$\Delta agudeza$ (acum)	0	0,1	0	0,15	0,05	0,25	0,05
$\Delta if$ (cVacil)	1,15	0,3	0,4	0,75	1,7	0,55	1,25
$\Delta aspereza$ (cAsper)	1,25	3,95	3,45	0,45	0,75	6,85	1,25
$\Delta rtr$ (dB)	4	0	1,55	0	0,15	0,05	0
$\Delta proem$ (dB)	0,4	0,5	3,25	2,95	0,55	1,85	0,15
$\Delta fp$ (Hz)	0	81	5344,5	81	3857	180,5	94
$\Delta loud_I$ (sone)	0,058	0,372	0,408	0,252	0,078	0,646	0,156
$\Delta loud_{II}$ (sone)	0,124	0,400	0,420	0,322	0,087	0,848	0,235
$\Delta loud_{III}$ (sone)	0,123	0,363	0,365	0,154	0,055	0,643	0,049
$\Delta loud_{IV}$ (sone)	0,039	0,424	0,214	0,120	0,023	0,790	0,069
$\Delta loud_V$ (sone)	0,041	0,287	0,115	0,110	0,021	0,566	0,040
$\Delta loud_{VI}$ (sone)	0,016	0,331	0,074	0,143	0,016	0,607	0,037

Tabela F.5: Valores das variáveis dos pares 29 ao 34.

Par	29	30	31	32	33	34
$\Delta loudness$ (sone)	4	0,3	22,55	3,05	2,25	0,1
$\Delta agudeza$ (acum)	0,15	0,05	0,35	0,15	0,1	0
$\Delta if$ (cVacil)	0,55	0,85	0,8	0,95	1,6	0,55
$\Delta aspereza$ (cAsper)	0,45	0,7	10,8	1,35	0,65	0,3
$\Delta rtr$ (dB)	0	0,2	0,55	0	0	0
$\Delta proem$ (dB)	1,9	0,5	0,85	3,1	0,6	0,35
$\Delta fp$ (Hz)	13	3070	13	81	3643,5	5374,5
$\Delta loud_I$ (sone)	0,236	0,170	0,892	0,346	0,155	0,246
$\Delta loud_{II}$ (sone)	0,111	0,051	1,198	0,218	0,140	0,063
$\Delta loud_{III}$ (sone)	0,136	0,037	1,061	0,105	0,103	0,040
$\Delta loud_{IV}$ (sone)	0,231	0,042	1,148	0,226	0,066	0,029
$\Delta loud_V$ (sone)	0,202	0,019	0,821	0,138	0,103	0,026
$\Delta loud_{VI}$ (sone)	0,175	0,012	0,805	0,145	0,084	0,023



## *APÊNDICE G – Questionário 2*

O questionário utilizado para a coleta de palavras para a construção do diferencial semântico é apresentado nas páginas seguintes.

Universidade Federal de Santa Catarina – Laboratório de Vibrações e Acústica  
Pesquisador: Ricardo Penna Leite – e-mail: penna@emc.ufsc.br  
Telefone: (48) 3331-9227 ramal 34

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Qual a sua idade? R: \_\_\_\_\_

Sexo:  M  F

Você possui carro?  S  N

Quantas vezes por semana você dirige? \_\_\_\_\_

O que você considera importante no *ruído* do sistema de ventilação e ar-condicionado de um carro?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Como você descreveria os ruídos que acabou de escutar?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Quais características você mudaria nos ruídos que lhe foram apresentados?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## *APÊNDICE H – As ordens de apresentação dos sons da segunda avaliação subjativa*

A Tabela H.2 mostra as dez diferentes ordens de apresentação dos sons utilizadas na segunda avaliação subjativa. A Tabela H.1 mostra qual das ordens foi apresentada a cada sujeito.

Tabela H.1: A ordem apresentada a cada sujeito.

Sujeito	Ordem	Sujeito	Ordem
1	1	16	6
2	2	17	7
3	3	18	4
4	4	19	3
5	5	20	2
6	6	21	1
7	7	22	10
8	8	23	9
9	9	24	8
10	10	25	4
11	1	26	7
12	2	27	6
13	3	28	8
14	4	29	9
15	5	30	1
—	—	31	10

Tabela H.2: As dez ordens de apresentação dos sons utilizadas na segunda avaliação subjetiva.

		Ordem									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	024, Pé-4	019, Pé/Pára-brisa-3	024, Pára-brisa-3	024, Pé-4	023, Pé/Pára-brisa-2	027, Pé/Pára-brisa-4	020, Frente-2	019, Pé/Pára-brisa-3	020, Frente-4	027, Pé/Pára-brisa-4	
2	027, Pára-brisa-3	027, Pé/Pára-brisa-2	022, Pé/Pára-brisa-1	020, Frente-4	024, Pé-4	020, Frente-4	019, Pé/Pára-brisa-3	023, Pé/Pára-brisa-2	019, Pé/Pára-brisa-3	027, Pé/Pára-brisa-2	
3	027, Pé/Pára-brisa-4	023, Pé/Pára-brisa-2	020, Frente-2	026, Pára-brisa-4	024, Pára-brisa-3	027, Pé/Pára-brisa-2	024, Pára-brisa-3	026, Pára-brisa-4	026, Pára-brisa-4	020, Frente-4	
4	024, Pé-4	024, Pé-4	027, Pára-brisa-3	023, Pé/Pára-brisa-2	020, Frente-4	020, Frente-2	021, Pára-brisa-2	027, Pára-brisa-3	027, Pé/Pára-brisa-4	023, Pé/Pára-brisa-2	
5	021, Pára-brisa-2	027, Pára-brisa-3	024, Pé-4	027, Pé/Pára-brisa-2	022, Pé/Pára-brisa-1	019, Pé/Pára-brisa-3	024, Pé-4	024, Pé-4	023, Pé/Pára-brisa-2	026, Pára-brisa-4	
6	023, Pé/Pára-brisa-2	024, Pára-brisa-3	021, Pára-brisa-2	019, Pé/Pára-brisa-3	027, Pára-brisa-3	027, Pára-brisa-3	027, Pára-brisa-3	020, Frente-2	027, Pé/Pára-brisa-2	024, Pé-4	
7	020, Frente-2	022, Pé/Pára-brisa-1	027, Pé/Pára-brisa-2	027, Pé/Pára-brisa-4	020, Frente-2	022, Pé/Pára-brisa-1	027, Pé/Pára-brisa-4	019, Pé/Pára-brisa-3	024, Pé-4	019, Pé/Pára-brisa-3	
8	022, Pé/Pára-brisa-1	020, Frente-2	019, Pé/Pára-brisa-3	024, Pé-4	027, Pé/Pára-brisa-2	021, Pára-brisa-2	019, Pé/Pára-brisa-3	027, Pé/Pára-brisa-4	024, Pára-brisa-3	022, Pé/Pára-brisa-1	
9	024, Pára-brisa-3	021, Pára-brisa-2	020, Frente-4	019, Pé/Pára-brisa-3	019, Pé/Pára-brisa-3	024, Pára-brisa-3	022, Pé/Pára-brisa-1	021, Pára-brisa-2	022, Pé/Pára-brisa-1	024, Pára-brisa-3	
10	019, Pé/Pára-brisa-3	020, Frente-4	019, Pé/Pára-brisa-3	021, Pára-brisa-2	026, Pára-brisa-4	024, Pé-4	024, Pé-4	024, Pára-brisa-3	021, Pára-brisa-2	020, Frente-2	
11	027, Pé/Pára-brisa-2	026, Pára-brisa-4	023, Pé/Pára-brisa-2	022, Pé/Pára-brisa-1	024, Pé-4	026, Pára-brisa-4	020, Frente-4	024, Pé-4	027, Pára-brisa-3	024, Pé-4	
12	020, Frente-4	019, Pé/Pára-brisa-3	027, Pé/Pára-brisa-4	024, Pára-brisa-3	021, Pára-brisa-2	023, Pé/Pára-brisa-2	027, Pé/Pára-brisa-2	022, Pé/Pára-brisa-1	020, Frente-2	027, Pára-brisa-3	
13	026, Pára-brisa-4	027, Pé/Pára-brisa-4	026, Pára-brisa-4	027, Pára-brisa-3	019, Pé/Pára-brisa-3	024, Pé-4	023, Pé/Pára-brisa-2	020, Frente-4	024, Pé-4	021, Pára-brisa-2	
14	019, Pé/Pára-brisa-3	024, Pé-4	024, Pé-4	020, Frente-2	027, Pé/Pára-brisa-4	019, Pé/Pára-brisa-3	026, Pára-brisa-4	027, Pé/Pára-brisa-2	019, Pé/Pára-brisa-3	019, Pé/Pára-brisa-3	

## *APÊNDICE I – Questionário 3*

O questionário utilizado na segunda avaliação subjetiva é apresentado nas páginas seguintes.

Universidade Federal de Santa Catarina – Laboratório de Vibrações e Acústica  
Pesquisador: Ricardo Penna Leite – e-mail: penna@emc.ufsc.br  
Telefone: (48) 3331-9227 ramal 34

## Avaliação subjetiva 02

Obrigado por participar desta pesquisa. As informações aqui prestadas são confidenciais e só serão utilizadas nesta pesquisa.

Data da realização da avaliação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Qual a sua idade? R: \_\_\_\_\_

Sexo:  M  F

Você tem experiência como ouvinte em avaliações subjetivas de sons?  S  N

Caso positivo, por favor, detalhe um pouco mais no espaço abaixo.

Você trabalha com acústica?  S  N

Caso positivo, você tem experiência em preparação e/ou aplicação de testes subjetivos relacionados à acústica, ou alguma experiência em qualidade sonora?  S  N

Você possui carro?  S  N

Caso negativo, a sua família possui algum carro que você sempre dirija?  S  N

A finalidade desta pesquisa é avaliar subjetivamente os sons do **sistema de ventilação de automóveis**. É importante que você seja honesto nas suas respostas. Tenha em mente que não existem respostas certas ou erradas.

Serão apresentados a você 14 sons, de cinco segundos cada. Após ouvir um desses sons com atenção, você deverá avaliá-lo com base em cinco pares de adjetivos:

- não-incômodo e incômodo
- silencioso e barulhento
- grave e agudo
- suave e áspero

- não-assobiante e assobiante

Os sons devem ser avaliados com uma escala dividida em sete graus, apresentada da seguinte forma:

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Se, por exemplo, você considerar que o som não é nem um pouco incômodo, marque no quadradinho mais próximo de **não-incômodo**:

<b>não-incômodo</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>					
---------------------	-------------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------

Ao contrário, se você considerar que o som é bastante incômodo, marque no quadradinho mais próximo de **incômodo**:

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>					
---------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------------------------	-----------------

Mas se você considerar que o som não é tão incômodo, você pode marcar nos quadradinhos mais próximos do centro:

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>				
---------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------------------------	--------------------------	-----------------

ou:

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>
---------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------

O mesmo procedimento deverá ser feito com os outros quatro pares de adjetivos.

O som poderá ser tocado novamente sempre que você achar necessário. Haverá também um espaço para eventuais comentários que você queira fazer.

A duração deste teste é de cerca de quinze minutos.

Este teste terá três etapas:

1. **Treinamento.** Será uma pequena simulação do teste, para que você se familiarize com ele.
2. **Conhecendo os sons.** Os sons que farão parte do teste lhe serão apresentados.
3. **Avaliação subjetiva.** Finalmente, os sons da avaliação subjetiva lhe serão apresentados.

## 1 Treinamento

Dois sons lhe serão apresentados. Escute-os com atenção e marque, para cada par de adjetivos, o ponto que melhor corresponder à sua impressão.

Treinamento – 1º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

Treinamento – 2º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

## 2 Conhecendo os sons

Os sons que farão parte do teste lhe serão apresentados agora, para que você os conheça antes de avaliá-los.

## 3 Avaliação subjetiva

Esta avaliação terá 14 sons. Escute-os com atenção e marque, para cada par de adjetivos, o ponto que melhor corresponder à sua impressão.

1º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

2º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

3º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

4º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

5º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

6º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

7º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

8º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

9º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

10º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

11º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

12º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

13º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

14º som

<b>não-incômodo</b>	<input type="checkbox"/>	<b>incômodo</b>						
<b>silencioso</b>	<input type="checkbox"/>	<b>barulhento</b>						
<b>grave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>agudo</b>						
<b>suave</b>	<input type="checkbox"/>	<b>áspero</b>						
<b>não-assobiante</b>	<input type="checkbox"/>	<b>assobiante</b>						

Comentários:

Comentários gerais:



## *APÊNDICE J – Respostas dos sujeitos na segunda avaliação subjéitiva*

Este apêndice apresenta as respostas da segunda avaliação subjéitiva. A Tabela J.1 mostra a resposta de todos os sujeitos para o par grave/agudo. A Tabela J.2 mostra a resposta de todos os sujeitos para o par suave/áspero. A Tabela J.3 mostra a resposta de todos os sujeitos para o par não-assobiante/assobiante. A Tabela J.4 mostra a resposta de todos os sujeitos para o par silencioso/barulhento. A Tabela J.5 mostra a resposta de todos os sujeitos para o par não-incômodo/incômodo.

Tabela J.1: Respostas de todos os sujeitos na segunda avaliação subjetiva, para o par *grave/agudo*.

Sujeito	022, Pé/Pára-brisa-1	021, Pára-brisa-2	027, Pé/Pára-brisa-2	023, Pé/Pára-brisa-2	020, Frente-2	024, Pára-brisa-3	019, Pé/Pára-brisa-3	027, Pára-brisa-3	027, Pé/Pára-brisa-4	024, Pé-4	020, Frente-4	026, Pára-brisa-4	019, Pé/Pára-brisa-3 (Repetição)	024, Pé-4 (Repetição)
1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	-1
2	-3	1	-2	0	0	2	-1	0	-2	1	0	-1	-2	3
3	-1	0	0	-3	-2	1	-2	-2	-3	-3	-2	-3	-2	-3
4	-2	-1	-2	-1	0	1	1	-2	-1	1	-1	-2	0	1
5	-2	-2	-3	0	0	1	0	-2	-2	2	-1	1	1	3
6	-1	-1	-2	-1	0	-2	0	-2	-1	2	0	0	0	2
7	-3	-2	-3	-1	-1	-1	-2	-2	-1	0	-1	-1	-2	0
8	-3	-3	-3	-2	-2	-1	-2	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2
9	-2	-1	-1	1	1	-1	-1	0	-1	3	-1	-1	1	2
10	-1	-2	-2	-1	-2	-3	-2	-2	-2	-3	-2	-3	-2	-3
11	-1	-1	-1	0	0	2	0	-2	-1	2	0	0	0	2
12	-2	-2	-2	0	2	0	0	1	-3	1	1	1	0	2
13	-1	0	-1	2	-1	0	0	-1	-2	1	1	2	0	0
14	-3	-2	-3	0	0	-1	0	-2	-1	-1	-2	0	-1	1
15	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1
16	0	2	-1	0	2	1	2	0	-2	1	-1	1	-1	3
17	0	-1	-3	3	1	1	1	-3	-1	1	-1	-3	1	3
18	-2	-1	-1	0	0	2	1	-1	-1	1	0	1	0	2
19	0	-1	-2	-2	0	0	1	-2	-2	2	2	1	1	2
20	-1	0	0	1	-1	0	0	0	0	2	1	1	0	1
21	0	-1	-3	0	3	-1	2	-1	-1	1	-2	-2	3	1
22	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2
23	-1	0	-2	2	1	0	0	0	-1	2	0	1	-2	0
24	-1	-1	-2	0	-1	-1	-1	-2	-3	0	-2	0	-1	-1
25	0	-1	-2	0	1	0	0	-1	-2	0	-2	-1	-1	0
26	0	-1	0	0	0	-3	-1	-1	0	1	-3	-2	-1	-3
27	-3	-1	-3	-2	1	2	-1	-2	-2	2	-2	-2	-3	2
28	-1	-3	-1	0	2	3	-2	-1	-3	3	-2	3	-1	3
29	-2	-1	0	1	1	-1	0	-2	-1	-1	-1	1	0	-2
30	0	-1	-3	-1	2	2	3	-2	-1	-1	2	-1	-1	2
31	0	-2	-3	-1	-3	-2	0	-1	-1	2	1	-3	-1	1

Tabela J.2: Respostas de todos os sujeitos na segunda avaliação subjetiva, para o par *suave/áspero*.

Sujeito	022, Pé/Pára-brisa-1	021, Pára-brisa-2	027, Pé/Pára-brisa-2	023, Pé/Pára-brisa-2	020, Frente-2	024, Pára-brisa-3	019, Pé/Pára-brisa-3	027, Pára-brisa-3	027, Pé/Pára-brisa-4	024, Pé-4	020, Frente-4	026, Pára-brisa-4	019, Pé/Pára-brisa-3 (Repetição)	024, Pé-4 (Repetição)
1	-2	-2	-1	1	-1	2	1	-1	-1	1	1	1	-1	2
2	-3	-1	-3	2	0	1	-1	-3	0	3	1	1	1	3
3	-1	-1	-2	2	1	0	1	2	3	3	2	3	1	3
4	-2	-1	-2	-2	-1	2	0	0	-2	2	-1	0	0	1
5	-2	-1	-3	-1	0	0	0	-1	0	1	0	1	-1	3
6	-2	1	-3	1	1	2	2	-1	2	2	2	2	2	3
7	-3	-2	-3	-1	-1	0	-1	-2	-1	2	-1	1	-2	2
8	-1	2	0	-1	2	2	0	1	3	3	2	2	3	2
9	-1	0	-2	-1	0	1	0	1	-1	3	1	2	1	2
10	0	1	0	1	1	3	1	1	1	3	2	1	1	3
11	0	0	0	0	2	2	1	0	1	2	0	1	0	2
12	-2	-1	-1	1	0	1	0	0	1	1	1	2	1	2
13	-1	1	-1	2	1	1	1	1	1	3	3	2	1	2
14	-3	-2	-3	-1	-1	2	-1	-1	0	2	-1	-2	0	2
15	-3	-1	-3	-1	-2	0	-1	-1	-1	1	0	1	-1	0
16	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	-1	3
17	-3	-1	-3	1	1	3	1	-1	0	3	3	3	1	3
18	-2	0	-1	1	-2	1	2	0	1	2	2	0	0	1
19	-1	2	0	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2
20	-3	-2	-3	-1	-1	0	2	-1	0	3	0	0	0	3
21	0	-1	-2	0	-1	1	1	0	1	1	0	0	1	1
22	-2	0	-1	1	0	1	-1	0	1	1	2	1	0	2
23	-2	-1	-2	1	-1	0	-1	-1	-1	2	0	-1	-1	2
24	-3	-3	-2	0	-1	2	-1	-2	-1	2	3	1	1	3
25	-1	1	2	1	1	2	1	1	0	1	1	2	1	2
26	-3	0	-3	1	-1	1	0	0	1	2	2	1	1	3
27	-2	1	1	0	2	2	1	0	1	2	2	-1	1	3
28	-1	0	-2	2	2	2	0	-1	2	3	1	2	1	3
29	-1	-1	-2	2	-1	0	0	0	2	1	1	0	-1	2
30	2	-1	-1	1	2	3	2	0	1	1	3	2	3	3
31	-3	1	-2	1	1	1	-1	0	2	2	3	3	1	1

Tabela J.3: Respostas de todos os sujeitos na segunda avaliação subjetiva, para o par *não-assobiante/assobiante*.

Sujeito	022, Pé/Pára-brisa-1	021, Pára-brisa-2	027, Pé/Pára-brisa-2	023, Pé/Pára-brisa-2	020, Frente-2	024, Pára-brisa-3	019, Pé/Pára-brisa-3	027, Pára-brisa-3	027, Pé/Pára-brisa-4	024, Pé-4	020, Frente-4	026, Pára-brisa-4	019, Pé/Pára-brisa-3 (Repetição)	024, Pé-4 (Repetição)
1	-1	-2	-1	1	-1	2	1	0	1	1	2	1	0	1
2	-3	1	-3	0	0	2	-1	-2	-3	1	1	-2	1	3
3	-1	0	-2	1	0	0	1	1	2	3	2	3	1	3
4	-3	-2	-2	1	1	2	1	-1	0	1	-1	-2	1	0
5	-3	-2	-3	0	2	-1	2	-2	-2	-1	-1	-1	0	-1
6	-3	-2	-3	-1	1	-1	-1	-3	-2	2	-2	-2	-1	2
7	-3	-2	-3	-2	-1	0	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-2	-2
8	0	0	1	-2	2	1	-1	0	2	2	3	1	1	2
9	-1	0	0	1	2	3	-1	1	0	3	2	2	1	2
10	-2	-3	-2	-1	2	-2	-2	-3	-2	-3	-2	-2	-3	-3
11	0	-1	0	0	2	0	0	0	1	-1	-1	-2	-1	0
12	-3	-2	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	2	1
13	-3	-3	-3	-3	0	-3	-1	-3	-3	-3	-3	-3	-1	-3
14	-3	-3	-3	-2	2	-1	-2	-2	0	-2	-2	-2	-1	-1
15	-1	-3	-3	-3	1	-2	-2	-2	-3	-3	-1	-2	-2	-3
16	-2	-1	-2	1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	-1	-1
17	-3	-1	-3	2	0	0	-1	-3	-2	-2	-2	1	1	-3
18	2	-2	0	-1	3	0	-2	0	-3	-2	-2	-3	-1	-2
19	-1	-1	-1	3	1	-2	1	-2	-2	-1	2	2	2	-1
20	-3	-3	-3	-3	-3	-3	1	-3	-3	1	-3	-3	-3	-3
21	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
22	-3	-2	-3	-2	2	-3	-2	-1	-3	-2	-3	1	-1	-3
23	-3	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	-2	-3	-3	-3	-3	-3
24	-3	-3	-3	-2	0	-3	-3	-3	-3	-2	-3	-2	-3	-3
25	-2	-2	-2	-2	2	-1	2	-2	-2	-2	-2	0	2	1
26	-3	-1	0	0	-2	2	-2	-1	0	2	0	2	1	0
27	-1	-2	-1	0	2	0	0	-1	-2	0	-1	1	0	-1
28	-2	0	0	1	1	2	0	0	1	3	1	3	1	3
29	-1	0	-3	0	3	-1	1	0	0	-1	-1	2	2	-1
30	1	0	0	-2	3	-2	3	-2	-2	-3	-2	-1	3	-2
31	-2	0	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	2	2	0	0

Tabela J.4: Respostas de todos os sujeitos na segunda avaliação subjetiva, para o par *silencioso/barulhento*.

Sujeito	022, Pé/Pára-brisa-1	021, Pára-brisa-2	027, Pé/Pára-brisa-2	023, Pé/Pára-brisa-2	020, Frente-2	024, Pára-brisa-3	019, Pé/Pára-brisa-3	027, Pára-brisa-3	027, Pé/Pára-brisa-4	024, Pé-4	020, Frente-4	026, Pára-brisa-4	019, Pé/Pára-brisa-3 (Repetição)	024, Pé-4 (Repetição)
1	-2	-2	-2	0	-2	2	1	-1	-1	2	1	1	-1	2
2	-3	-1	-3	2	-1	3	-1	-2	0	3	3	3	1	3
3	-2	-2	-2	2	1	0	2	2	3	3	3	3	2	3
4	-3	-1	-3	-2	-2	2	-2	-2	-1	2	1	1	-2	3
5	-3	-2	-3	-1	0	1	0	-2	1	2	0	3	1	3
6	-3	-1	-2	0	1	3	1	-1	1	3	2	3	1	3
7	-3	-2	-3	-1	-2	1	-2	-2	0	3	1	2	-2	3
8	-1	1	-1	-1	2	3	-2	-2	2	2	2	2	1	3
9	-2	0	-2	0	0	3	-1	1	0	3	1	2	0	3
10	1	1	1	2	2	3	1	2	2	3	3	3	2	3
11	1	0	0	2	1	3	1	1	1	3	3	3	2	3
12	-1	-1	1	1	1	2	1	1	2	3	3	2	2	2
13	-1	0	-2	2	0	1	0	1	1	3	3	2	1	2
14	-2	-2	-3	-1	-1	2	0	-1	1	2	2	2	-1	3
15	-2	-2	-3	-1	-1	1	0	-2	1	2	1	2	-1	1
16	-2	1	-2	0	1	2	2	0	1	1	2	2	-2	3
17	-2	-1	-2	2	0	3	1	-1	1	3	3	3	-1	3
18	-2	-1	-2	0	-3	2	2	-2	1	2	1	2	0	2
19	-2	-1	-2	2	-1	1	1	1	2	3	2	2	1	3
20	-3	0	-2	0	1	2	1	0	1	3	2	3	1	3
21	-3	-1	-3	0	0	3	1	-1	1	3	3	3	0	3
22	-1	0	-1	2	-1	2	0	1	1	3	2	2	1	3
23	-1	0	-2	1	0	0	-1	0	0	2	1	1	1	3
24	-2	-1	-2	0	-1	2	-1	-1	1	3	2	2	0	3
25	0	1	0	1	0	1	0	0	1	2	2	1	0	3
26	-3	0	-3	0	-1	1	0	-1	1	3	3	3	1	3
27	-3	-1	-2	-3	1	2	1	0	2	3	2	2	-3	2
28	-2	1	-2	3	1	3	2	-1	2	3	3	3	2	3
29	-2	-1	-1	0	0	0	0	-1	1	2	1	1	1	3
30	-1	0	-2	1	1	3	2	0	1	2	3	2	0	3
31	-3	0	-3	1	0	3	-1	-2	2	2	3	3	1	3

Tabela J.5: Respostas de todos os sujeitos na segunda avaliação subjetiva, para o par *não-incômodo/incômodo*.

Sujeito	022, Pé/Pára-brisa-1	021, Pára-brisa-2	027, Pé/Pára-brisa-2	023, Pé/Pára-brisa-2	020, Frente-2	024, Pára-brisa-3	019, Pé/Pára-brisa-3	027, Pára-brisa-3	027, Pé/Pára-brisa-4	024, Pé-4	020, Frente-4	026, Pára-brisa-4	019, Pé/Pára-brisa-3 (Repetição)	024, Pé-4 (Repetição)
1	-2	-1	-2	0	-2	1	1	-1	0	2	1	1	0	2
2	-3	-2	-3	0	-1	2	-1	-2	0	3	3	3	-1	3
3	-1	-2	-3	1	1	1	2	3	3	3	3	3	1	3
4	-3	-2	-2	-2	-2	2	-1	-2	-2	2	0	-1	-1	2
5	-3	-2	-3	-1	0	1	1	-2	2	2	1	3	0	3
6	-3	-1	-3	0	1	3	1	-1	0	3	3	2	2	3
7	-3	-2	-3	-1	-2	1	-2	-2	0	3	1	2	-2	3
8	-2	-1	-2	0	-1	3	-1	-2	0	3	2	2	1	3
9	-2	-1	-2	0	1	2	-1	1	-1	3	0	1	0	3
10	0	1	0	1	2	2	1	1	2	3	2	3	2	3
11	1	1	1	3	2	3	2	1	2	3	3	3	2	3
12	-1	1	-1	2	2	2	1	1	2	3	3	3	2	2
13	-2	0	-2	2	-1	1	-1	1	0	3	2	2	0	2
14	-2	-2	-2	-1	0	2	-1	-1	0	2	1	2	-1	3
15	-3	-3	-3	-2	-1	1	0	-2	-1	2	0	2	-2	2
16	-2	1	-3	1	0	2	1	1	-1	2	1	2	-2	2
17	-2	-1	-2	3	0	3	1	-1	1	3	3	3	0	3
18	-3	-2	-2	-1	-2	2	1	-2	0	2	0	2	0	3
19	-2	-1	-1	3	-1	-1	1	0	3	2	3	3	2	3
20	-3	-2	-3	-2	0	3	1	-1	2	3	2	3	-1	3
21	-3	1	-3	0	-1	3	2	-1	1	3	3	3	0	3
22	-1	-1	0	2	0	2	1	0	1	3	2	2	1	3
23	-2	-1	-2	1	2	0	-1	-1	-1	3	0	0	0	2
24	-2	-1	-2	1	1	3	0	-1	1	3	2	2	0	3
25	-1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	3
26	-3	-1	-3	1	-2	3	-1	0	1	3	2	3	1	3
27	-1	0	0	-2	2	2	2	1	1	3	2	2	0	3
28	-2	1	-2	2	1	3	2	1	2	3	3	3	2	3
29	-2	-1	-3	0	1	1	0	-1	1	2	1	2	2	3
30	0	1	-1	0	3	3	3	-1	-1	2	3	2	1	3
31	-3	-2	-3	1	-1	3	-1	-2	1	3	2	3	1	3

## *APÊNDICE K – Valores das métricas psicoacústicas dos sons da segunda avaliação subjetiva*

Este apêndice apresenta os valores das métricas psicoacústicas dos sons que participaram da segunda avaliação subjetiva. Esses valores podem ser vistos nas Tabelas K.1 e K.2.

Tabela K.1: Valores das métricas psicoacústicas de seis sons usados na segunda avaliação subjetiva.

	<i>022, Pé/Pára-brisa-1</i>	<i>021, Pára-brisa-2</i>	<i>027, Pé/Pára-brisa-2</i>	<i>023, Pé/Pára-brisa-2</i>	<i>020, Frente-2</i>	<i>024, Pára-brisa-3</i>
<i>loudness</i> (soneGD)	4,55	8,3	3,9	11,45	7,6	17,55
agudeza (acum)	0,75	1	0,65	1,05	0,95	1,2
razão tom-ruído (dB)	0	-0,85	0	-3,3	3,25	-0,25
proeminência (dB)	4,65	3,85	2,7	7,2	5,2	7,95
freqüência mais proeminente (Hz)	704,5	647,5	758,5	170	1604	824,5
aspereza (cAsper)	16,9	21,6	13,8	23,2	21,2	29,35

Tabela K.2: Valores das métricas psicoacústicas de seis sons usados na segunda avaliação subjetiva.

	019, Pé/Pára-brisa-3	027, Pára-brisa-3	027, Pé/Pára-brisa-4	024, Pé-4	020, Frente-4	026, Pára-brisa-4
<i>loudness</i> (soneGD)	10,95	8,8	12,15	22,45	16,8	20,1
agudeza (acum)	1,05	0,9	1	1,3	1,2	1,1
razão tom-ruído (dB)	-1,75	0	0	-1,2	0	-1,05
proeminência (dB)	4,6	4,4	3,9	6	3,05	6,4
frequência mais proeminente (Hz)	1640,5	1021	161	728	1866	258
aspereza (cAsper)	23,65	22,2	24,1	29,85	25,5	29,75

## *APÊNDICE L – Comentários feitos pelos sujeitos na segunda avaliação subjetiva e observações do avaliador*

Neste apêndice encontram-se todos os comentários feitos pelos sujeitos na segunda avaliação subjetiva e as observações feitas pelo avaliador.

### **L.1 Comentários feitos pelos sujeitos para cada som**

**Som 1:** “Menos desagradável”.

**Som 7:** “O ruído tonal que não é mascarado torna evidente a baixa qualidade do som, embora não seja muito incômodo devido ao seu ‘volume’ não muito alto.”

**Som 10:** “Ainda mais incômodo e barulhento que o 13º.” (o 13º, na ordem ouvida pelo sujeito, é o som 12). “Mais incômodo!”

### **L.2 Comentários gerais feitos pelos sujeitos**

Os sujeitos quase que não faziam comentários escritos. Assim, após o teste, o avaliador perguntava para o sujeito sobre as dificuldades e os critérios que o sujeito utilizou durante a avaliação. As respostas eram anotadas no questionário. Os textos que estiverem entre aspas são transcrições dos comentários escritos pelos sujeitos.

**Sujeito 1:** Percebeu bem as diferenças de volumes.

**Sujeito 3:** “Considerarei assobiante como aquele som ‘chato’ que fica na cabeça. Como um assobio que chega a ‘doer’ .”

**Sujeito 7:** Os pares estão muito associados. Por exemplo, barulhento e incômodo.

**Sujeito 9:** O sujeito disse que um som agudo lhe lembra uma cantora de ópera, e que assobiante está mais relacionado a som de areia se chocando com areia, a estridente. Para ele, agudo e estridente não são a mesma coisa.

**Sujeito 10:** Achou a maioria dos sons grave, áspero e incômodo. Para ele, menos barulhento e menos intenso seria melhor.

**Sujeito 11:** Sujeito disse que considerou um som assobiante quando ouvia um tom puro que se destacava do ruído aerodinâmico. Não diferenciou muito a aspereza entre um som e outro. As propriedades mais marcantes são: *não-incômodo/incômodo* e *silencioso/barulhento* — são mais fáceis de se identificar. Para se tornar mais fácil a avaliação de *grave/agudo*, *suave/áspero* e *não-assobiante/assobiante*, seria necessário um treinamento.

**Sujeito 12:** “Todos incomodam muito!” O sujeito disse que conseguiu classificar bem os itens *suave/áspero* e *não-assobiante/assobiante*. Sabia quando um ruído era mais assobiante ou áspero que outro.

**Sujeito 13:** O sujeito não conseguiu escutar nenhum “assobio”. Achou difícil de caracterizar, pois há pequenas nuances entre os sons. Tentou relacionar um som com outro para marcar o item *não-assobiante/assobiante*.

**Sujeito 14:** O sujeito conseguiu caracterizar bem cada par de adjetivos. Identificou sons assobiantes apenas em alguns casos.

**Sujeito 15:** O sujeito disse faltar uma referência para comparação. Disse que conseguiu caracterizar cada par de adjetivos.

**Sujeito 16:** O sujeito disse haver pequenas diferenças entre os sons para ter segurança na hora de marcar cada item. Disse ter feito audiometria e identificado algumas deficiências.

**Sujeito 17:** Conseguiu identificar o assobio como um ruído de fundo.

**Sujeito 18:** Disse que incômodo e barulhento andam juntos. O agudo é mais incômodo que o grave. Todos são meio ásperos. Conseguiu perceber sons assobiantes.

**Sujeito 19:** Teve dificuldade de estabelecer um padrão para classificar os sons.

**Sujeito 20:** “Em geral achei que os sons têm quase a mesma composição do espectro, isto é, não consegui distinguir com facilidade tons agudos e graves.”

**Sujeito 21:** “Não sei a diferença do ruído assobiante e não-assobiante, não achei também nenhum ruído puramente suave para os meus ouvidos. Os escritos como mais suaves foram dentro da média de todos estes ruídos ásperos. Ou seja, os mais ‘suaves’ dentro dos ásperos.”

**Sujeito 22:** Teve dificuldades em caracterizar o par *grave/agudo*. Achou os ruídos parecidos com ruído branco. Achou os sons bastante parecidos.

**Sujeito 23:** Sentiu falta de uma referência para fazer o julgamento.

**Sujeito 24:** Identificou sons assobiantes como sons tonais. Disse que é importante passar os 14 sons direto para se definir uma escala. Acho que a maioria dos sons são graves.

**Sujeito 25:** “Acredito que a maior dependência da função incômodo seja o volume e do barulho, mas a baixa qualidade fica evidente com ruídos tonais (assobiantes). Sons *muito* ásperos também incomodavam muito, mas foi difícil discretizar esse nível de “aspereza”. Tenho também a leve impressão que ruídos *um pouco* mais graves são menos desagradáveis.”

**Sujeito 26:** Conseguiu identificar os pares de adjetivos.

**Sujeito 27:** Conseguiu identificar os pares. Talvez fosse mais interessante ouvir o **Conhecendo os sons** mais vezes.

**Sujeito 28:** Se fosse uma comparação entre os ruídos, teria que se ouvir várias vezes os sons e comparar com os outros.

**Sujeito 29:** Conseguiu identificar os pares. Sentiu um pouco falta de parâmetros para julgar os pares de adjetivos.

**Sujeito 30:** “A construção aqui atrás atrapalha um pouco.”