

Um Modelo Psicoacústico de Rugosidade

Alexandre Torres Porres, Jônatas Manzoli

Instituto de Artes/NICS – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Caixa Postal 6166 – 13091-970 – Campinas – SP – Brasil
{porres, jonatas}@nics.unicamp.br

Abstract. *We discuss and present on this paper a Roughness model as well as a critical review on the perception of roughness and its theory.*

Resumo. *Apresentamos e discutimos neste artigo um modelo de rugosidade, assim como uma revisão crítica de sua teoria e percepção.*

1. Rugosidade/Dissonância Sensorial & Banda Crítica

A sensação de batimentos ocorre para flutuações lentas de amplitude. Já a sensação de Rugosidade (do inglês *Roughness*, também traduzido como aspereza) ocorre para taxas de flutuação entre 20 Hertz até um intervalo que depende da Banda Crítica [Vassilakis 2001]. Como elementos da Dissonância Sensorial, Plomp e Levelt (1965) relacionaram essas percepções com a Banda Crítica (medida em *Bark* [Zwicker 1961]). Seus resultados – para dois tons senoidais – indicam um valor máximo de Dissonância Sensorial no intervalo que corresponde a um quarto da Banda Crítica, e uma sensação mínima para intervalos que a excedem (ver Figura 1).

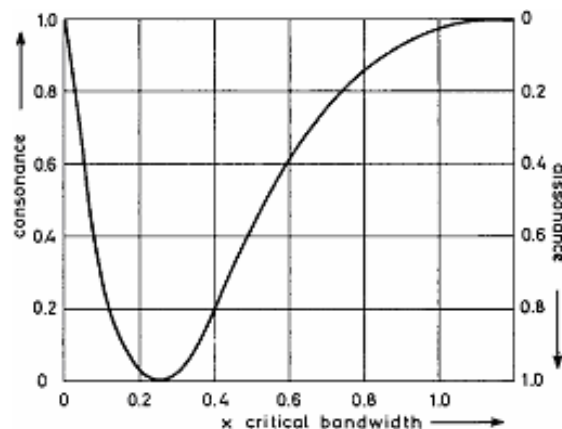


Figura 1. Curva de Plomp e Levelt (1965) para intervalos em Barks.

Apesar de seus correlatos físicos e psico-fisiológicos, o termo “Dissonância Sensorial” carrega uma subjetividade conceitual que abre margem para discussão do que seria “Dissonância”. Daí advém uma crítica de Vassilakis, que atinge o trabalho de Plomp e Levelt (1965). Segundo esse autor, novas estimativas seriam aferidas mais imparcialmente eliminando conceitos subjetivos. Em suas palavras [Vassilakis 2001:83-84]:

“Na tradição ocidental [rugosidade] tem sido regularmente ligada a conceitos de consonância e dissonância, (...) [estes] adquiridos esteticamente (...) ou não (...). Estudos que focam essa sensação têm sido ocasionalmente tendenciosos a encontrar uma justificativa aceitável definitiva e universal da ‘inevitabilidade natural’ e ‘superioridade estética’ da teoria da musical ocidental (...). Isso tem lhes privado de examinar seriamente os correlatos físicos e fisiológicos da sensação de rugosidade”.

2. O Modelo de Rugosidade

Estudamos duas funções que a aproximam os resultados de Plomp e Levelt (1965) comparadas na Figura 2a. Como sugerido por Barlow, adotamos uma combinação de duas equações para converter Hertz em Barks: a de Terhardt (1979) – para valores abaixo de 219.5Hz – e Traünmüller (1990) – para valores acima. Descartamos uma segunda função de Sethares (2005) que propõe um ajuste não acurado (Ver Figura 2b) na conversão de Hertz para Barks em função da frequência de base (f_{min}). Na Figura 2b, o ponto máximo em Barks varia de acordo com o registro do tom fixo (0.9 para 10kHz, 0.12 para 5KHz, 0.16 para 2500Hz, 0.19 para 100Hz e 0.23 para 500Hz), enquanto deveria permanecer constante como na Figura 2a – cujo ponto máximo é 0.22 Barks.

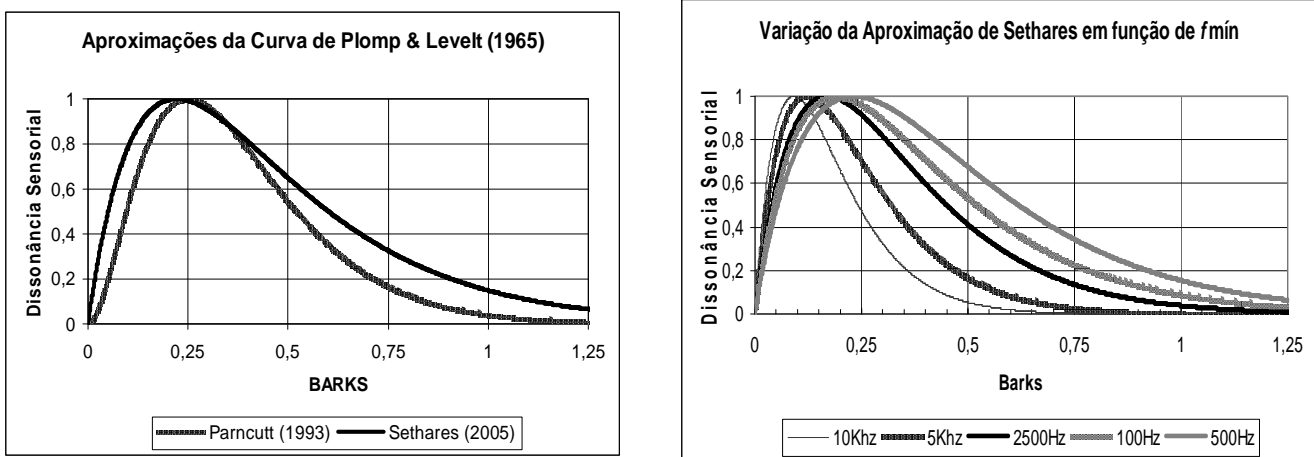


Figura 2a e 2b. Comparações das aproximações em a) e Variação da Curva na função descartada [Sethares 2005] em b.

Como no modelo de Barlow (1980), ajustamos os valores das amplitudes relativas por meio das *Curvas de Iso-Loudness* [Fletcher e Munson 1933]. Plomp e Levelt (1965) não mediram a sensação de componentes espectrais com amplitudes relativas diferentes. Em vista disso, Sethares (2005) multiplica o valor de rugosidade pelo menor valor das amplitudes. Entretanto, Vassilakis (2001) critica esse e outros procedimentos similares, e propõe uma equação que contabiliza a relação entre percepção de rugosidade e o *grau de flutuação de amplitude* [Vassilakis 2001]. O diagrama da Figura 3 representa os passos de nosso modelo, que retorna $R(f_1-A_1, f_2-A_2)$, ou seja, o valor de rugosidade para um par de frequências em Hz e suas respectivas amplitudes relativas. Como no modelo de Plomp e Levelt (1965), a rugosidade de um tom complexo é calculada somando-se a rugosidade de cada combinação dos pares de tons puros do espectro. A Figura 4 traz as Curvas de nosso modelo de rugosidade e compara os resultados de diferentes parâmetros como o redimensionamento proposto por Vassilakis (2001) e o de Sethares (2005) na Figura 4a, as aproximações de Parncutt (1993) em 4a e Sethares (2005) em 4b), assim como o redimensionamento de Sethares (2005) e a influência das Curvas de Fletcher e Munson (1933) na figura 4b. O espectro analisado é um tom complexo harmônico formado por seis parciais cujas amplitudes relativas decaem na taxa de 88%. O modelo foi implementado em puredata.info baseado, a princípio, na implementação em *Matlab* do modelo de Sethares (disponível em <http://eceserv0.ece.wisc.edu/~sethares/comprog.html>).

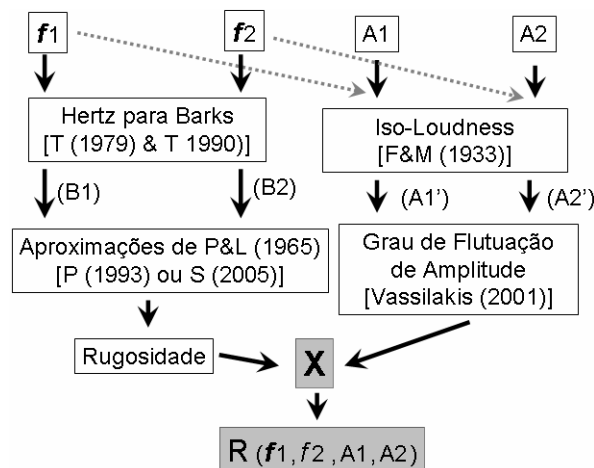


Figura 3. O Modelo de Rugosidade para um par de tons puros.

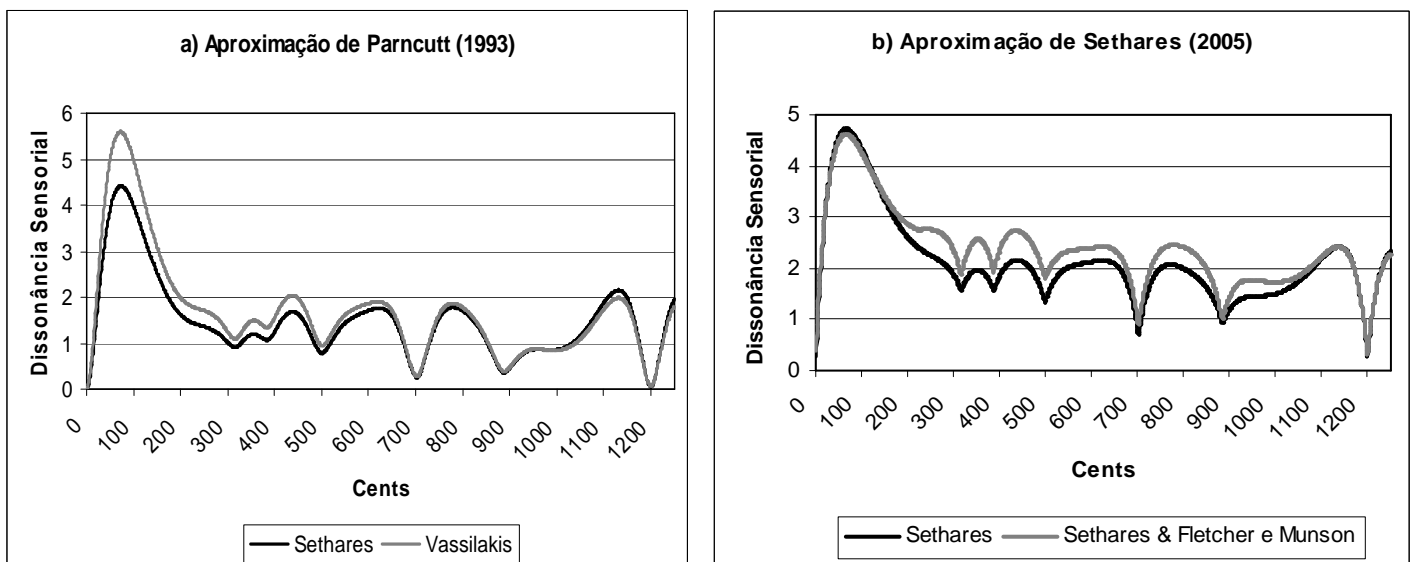


Figura 4a e 4b. Comparações dos Parâmetros do Modelo. Curvas no registro de uma oitava mais um quarto de tom a partir de 500Hz.

3. Discussão e conclusão.

Os dados de Plomp e Levelt (1965) – testes psicoacústicos subjetivos aferidos por média estatística – são imprecisos por natureza. Sua curva média (Figura 1) é, a priori, uma aproximação simplificada dos dados. Não obstante, a aproximação de Parncutt (1993) gera um gráfico mais semelhante à Figura 1 que a de Sethares (2005). Nesses gráficos em curvas, pontos mínimos representam o alinhamento de alguns parciais – eliminando a sensação de rugosidade. A partir desse princípio, curvas de tons complexos permitem encontrar intervalos musicais “consonantes” de acordo com o conteúdo espectral. Todavia, as variações timbrísticas de um instrumento musical são tantas e ligadas a tantos elementos de controle performático que há um limite intransponível nas análises desta ferramenta capaz apenas de analisar um espectro sonoro estático. De modo que melhorias em nosso modelo devem incluir mais uma nova dimensão temporal nas Curvas, assim como diferentes amostras de sons. Em contrapartida, é possível a análise de um sinal digital no tempo via FFT.

O modelo baseia-se no trabalho de Plomp e Levelt (1965), Parncutt (1993), Sethares (2005), Barlow (1980) e Vassilakis (2001). O elemento mais importante do modelo ora apresentado é a aproximação da curva de resultados de Plomp e Levelt (1965), assim como a necessária conversão de Hertz para a escala Bark [Zwicker 1961]. Uma revisão de nosso modelo poderá ocorrer quando esses dados essenciais forem revisados – o que é esperado em virtude da antiga data dos experimentos de Plomp e Levelt (1965). Um novo passo deve incluir o efeito de mascaramento. A rugosidade é um atributo fisiológico da sensação auditiva que influencia uma dimensão abstrata da percepção de dissonância. Helmholtz [1877: 234-235] apresenta a seguinte conclusão sobre inato *versus* adquirido na percepção de Rugosidade/Dissonância Sensorial:

“A combinação [de tons] percebida como mais rugosa ou suave que outra depende apenas da estrutura anatômica do ouvido (...). Mas a que grau de rugosidade um ouvinte está inclinado a ... como meio para expressão musical depende do gosto e hábito; por isso a fronteira entre consonância e dissonância tem mudado freqüentemente ... e ainda mudará adiante.

4. Agradecimentos

Alexandre Porres tem apoio FAPESP (processo 04/12405-6) e é orientando do Prof. Dr. Jônatas Manzolli – que tem apoio CNPq (projeto 308765/2003-6). Sethares e Vassilakis foram prestativos via e-mail. Barlow tem colaborado com dicas que serviram como inspiração e guia, além de ter fornecido dados para o desenvolvimento de nosso modelo.

Referências

- Barlow, C. (1980). Bus journey to Parametron. *Feedback Papers* vol. 21-23, Feedback Studio Verlag, Köln.
- Fletcher, H. e Munson, W.A. (1933), "Loudness, its definition, measurement and calculation" in *Journal of the Acoustical Society of America* N°5, 82-108 .
- Helmholtz, H.L.F. (1877) On the Sensations of Tone as a Psychological basis for the Theory of Music. New York, NY: Dover Publications. 2ª edição (1954)
- Parncutt, R. (1993) “Parncutt's implementation of Hutchinson & Knopoff roughness model”, <<http://www-gewi.uni-graz.at/staff/parncutt/rough1doc.html>>.
- Plomp, R. e Levelt, W.J.M. (1965). Tonal Consonance and Critical Bandwidth. *Journal of the Acoustical Society of America* N° 38, 548-568.
- Sethares, W.A. (2005) *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*. London: Springer-Verlag. 2ª Edição com CD-ROM.
- Traunmüller, H. (1990) Analytical expressions for the tonotopic sensory scale *Journal of the Acoustical Society of America*. N°88: 97-100.
- Terhardt (1979) On the perception of spectral information in speech. In: *Hearing Mechanisms and Speech* (Creutzfeldt, O., Scheich, H., Schreiner, C., eds.), Springer, Berlin/Heidelberg, 281-291.
- Vassilakis, P.N. (2001) Perceptual and Physical Properties of Amplitude Fluctuation and their Musical Significance. *Dissertação de Doutorado*. UCLA.
- Zwicker, E. (1961) Subdivision of the audible frequency range into critical bands (Frequenzgruppen), *Journal of the Acoustical Society of America*. 33: 248.