

Física 2 – Ciências Moleculares

Caetano R. Miranda **AULA 22 – 25/04/2024**

**Um barulhinho bom: inspirações
entre música e física**



“Uma viagem musical”

O “músico” e o físico

Bases físicas do som

Física @ música:

Física dos instrumentos musicais

Experimentações musicais

Música @ Física

PS: Produção, gravação, percepção do som

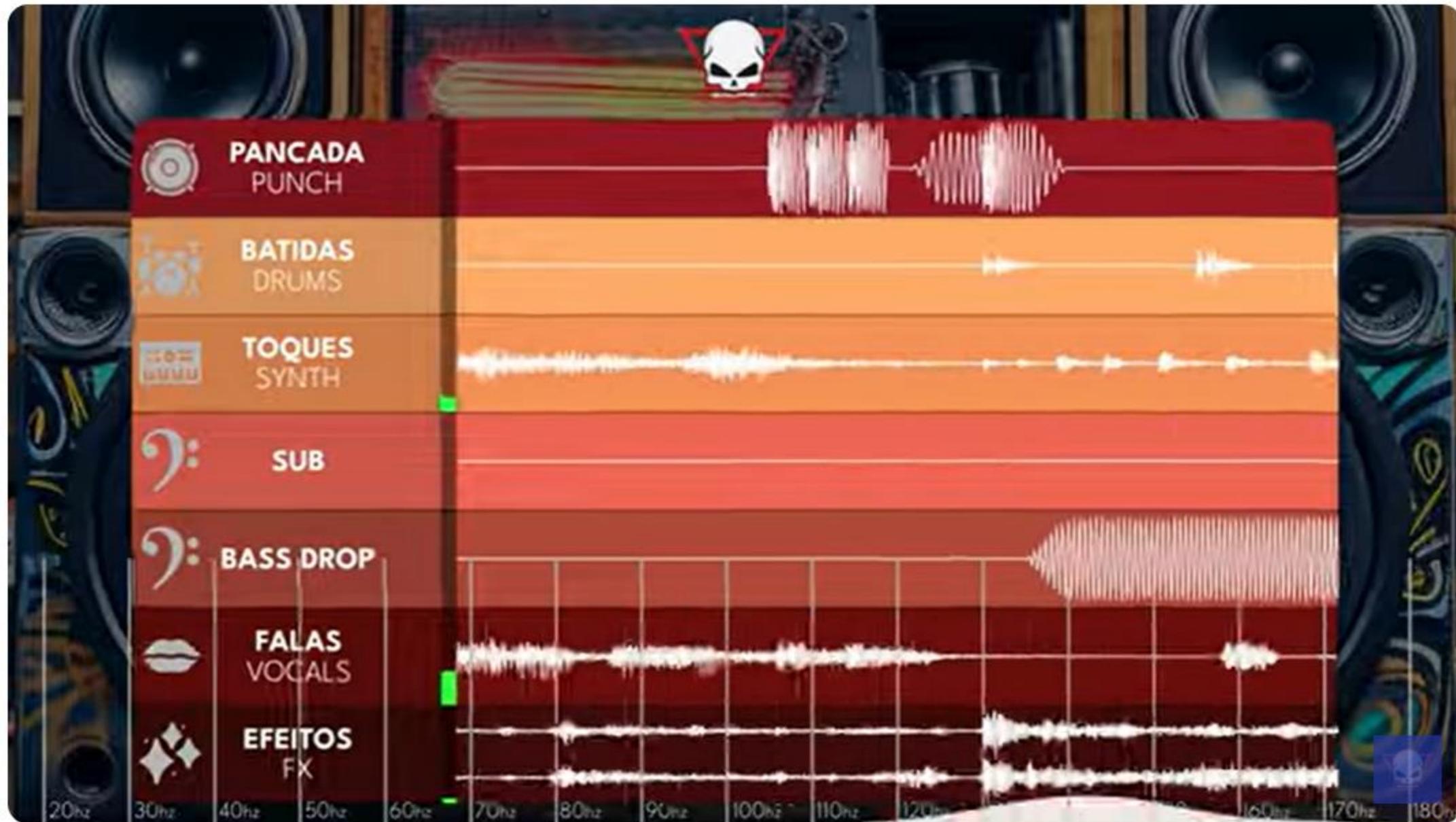
O músico e o físico



Experimentando o som II



Experimentação Sonora III



Vantagens

Podemos ouvir vários sons simultaneamente →

Multidimensional

Treinado para seguir **ritmo** e **altura** → melhor para detectar variações abruptas, transitórias, ou sutis

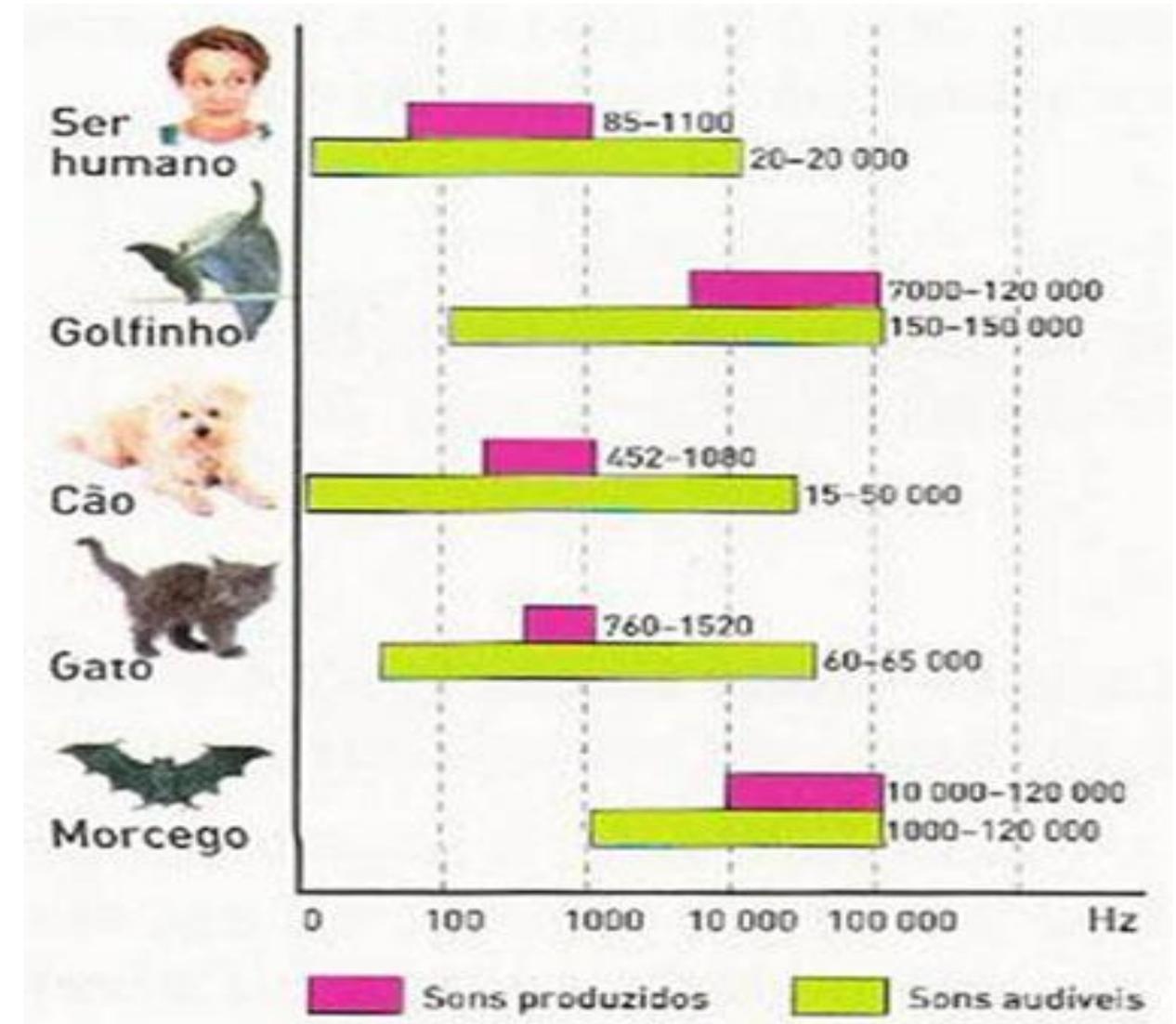
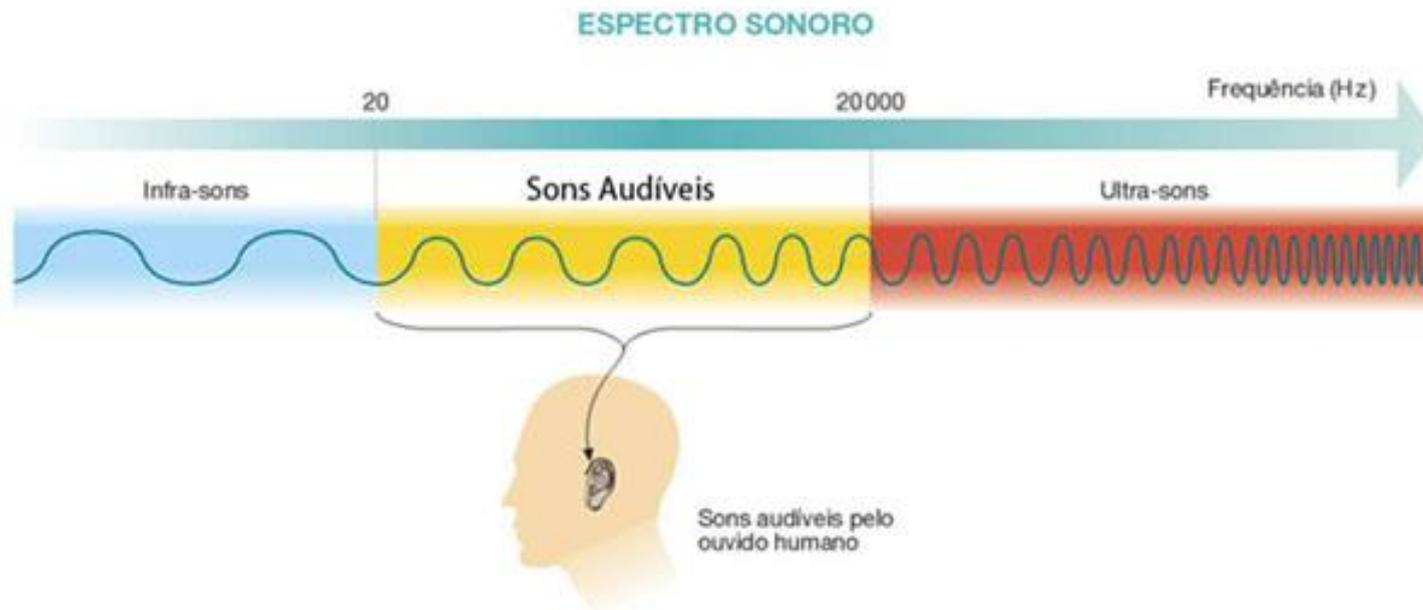
Seletivo → pode-se seguir um determinado canal ou cortar outros

Experiência constante → “sem piscar” ou “olhar para o lado”

O som pode ser adicionado (mais dados) sem aumentar a sobrecarga visual

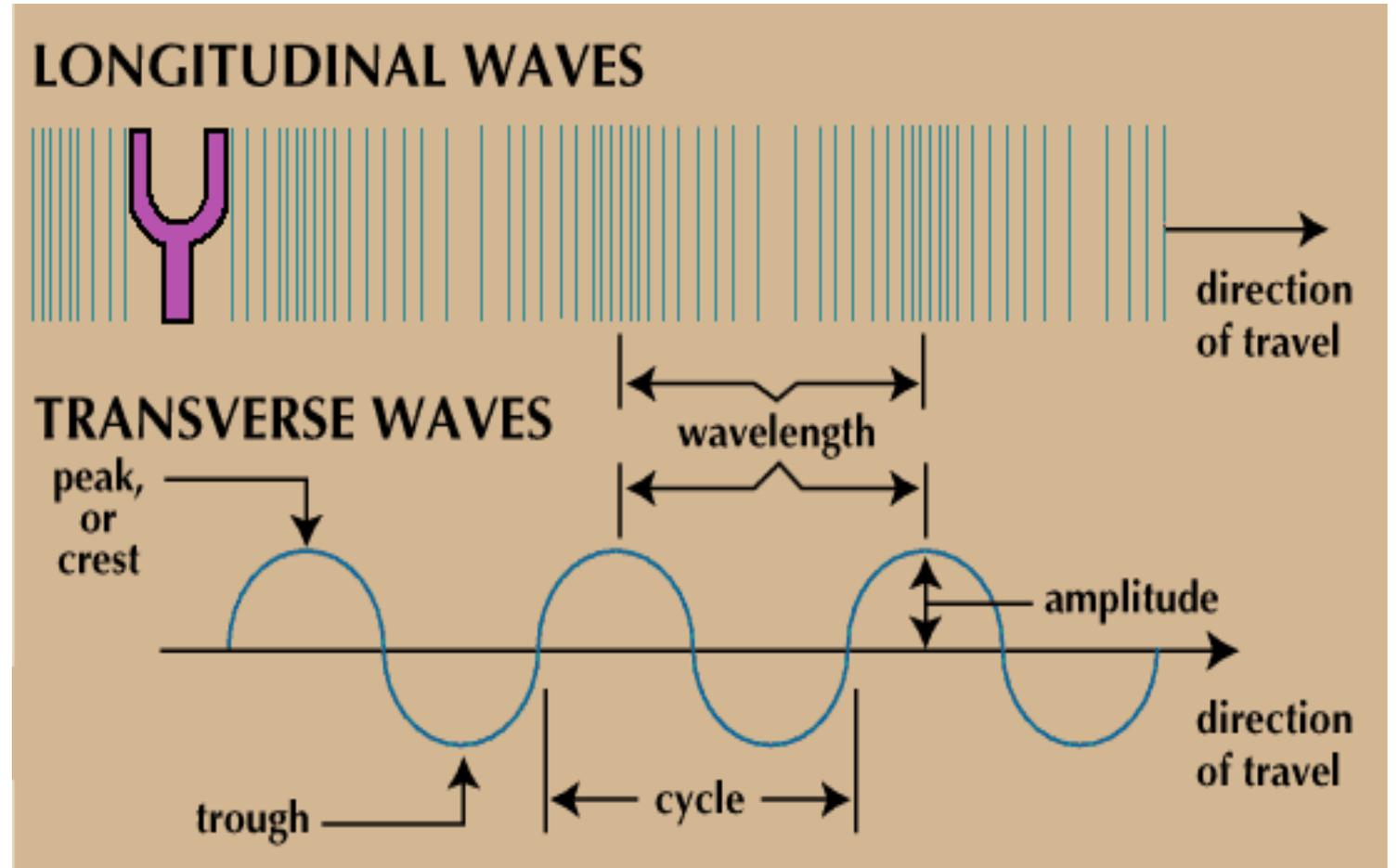
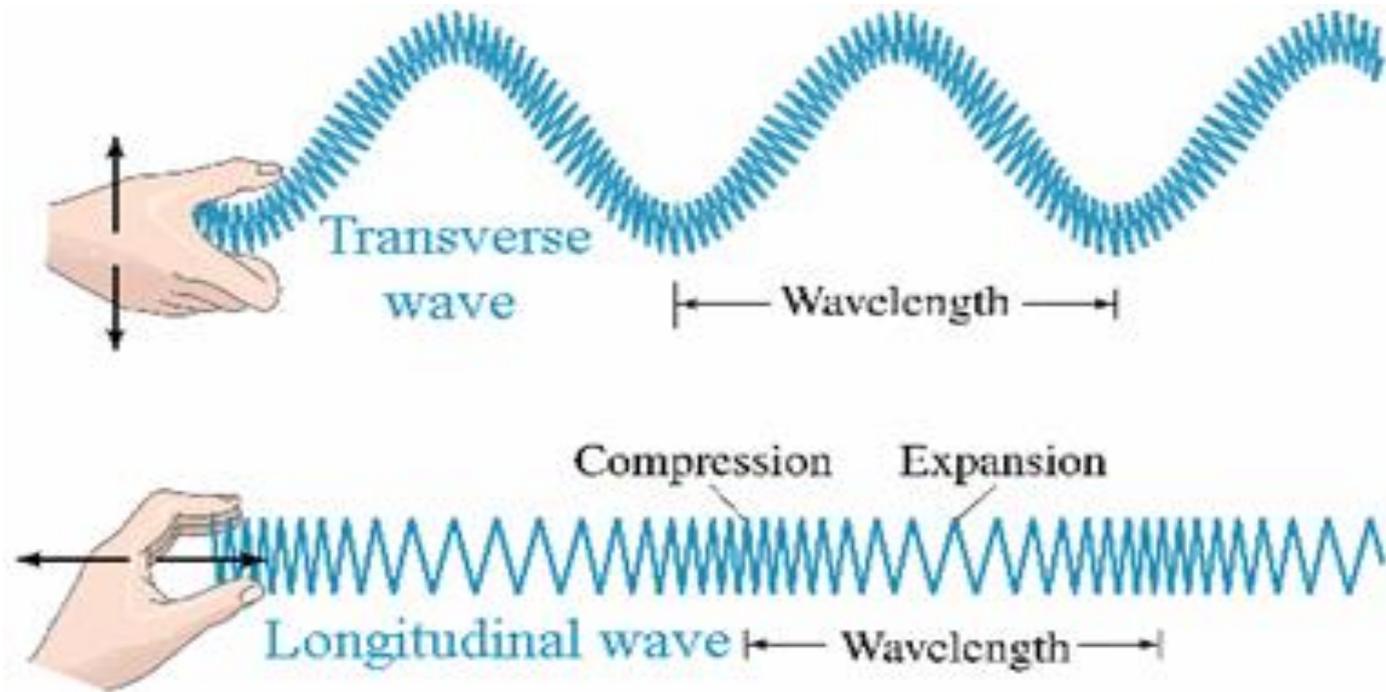
Localização espacial, impacto emocional e realismo.

Espectro sonoro

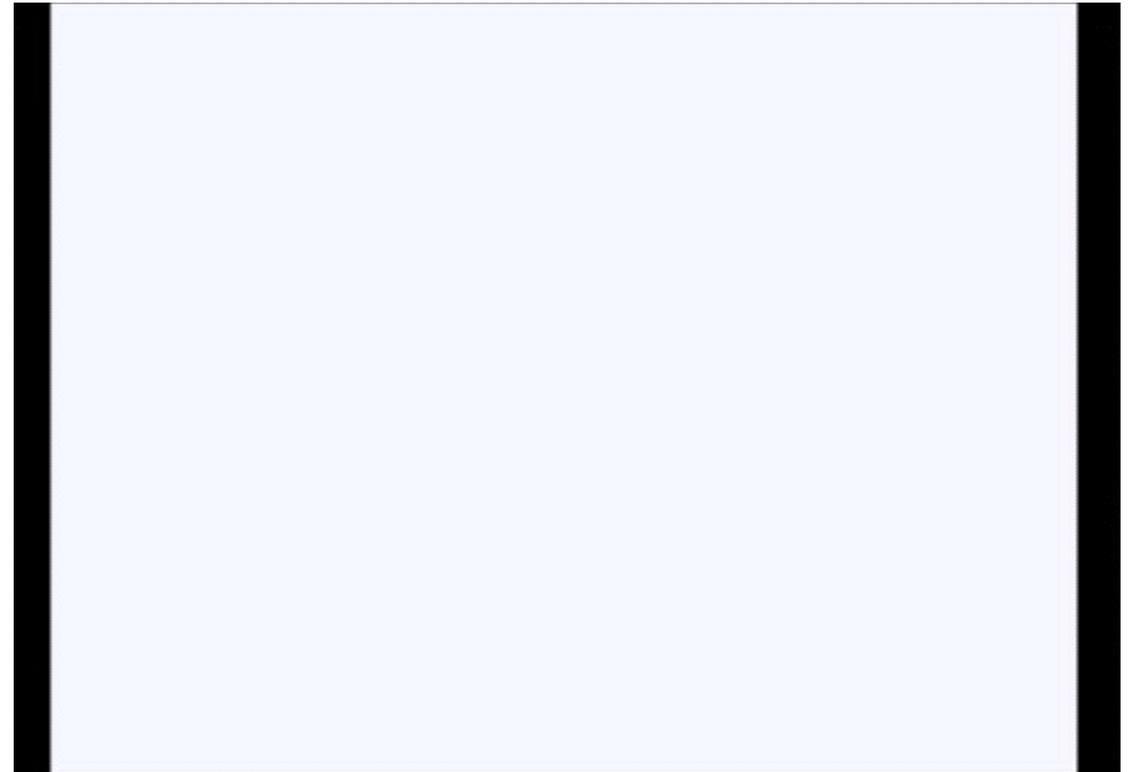
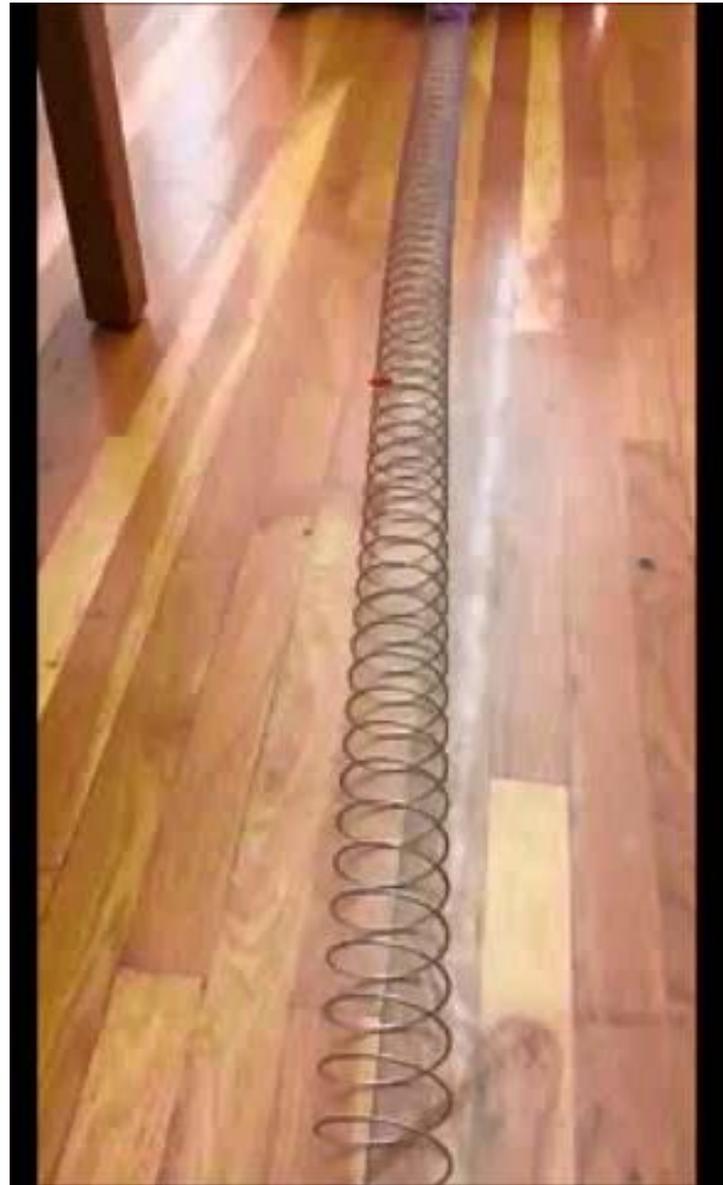


BASES FÍSICAS DO SOM

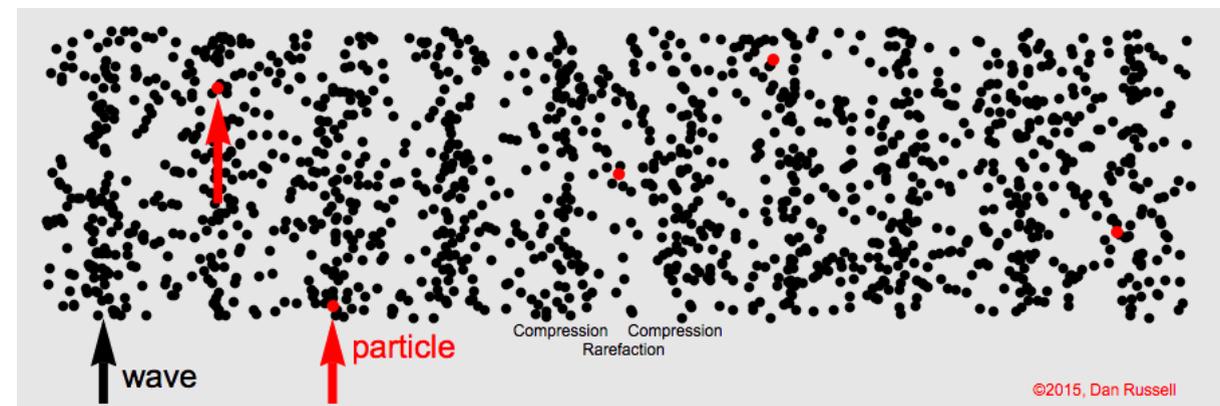
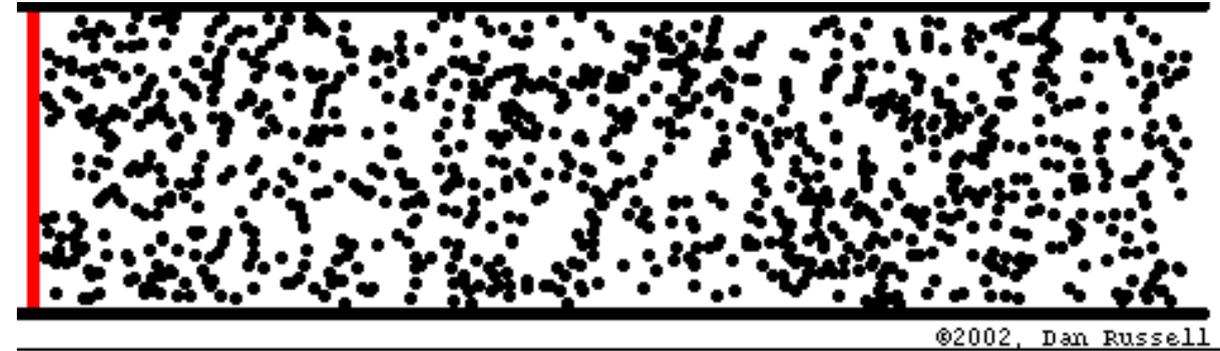
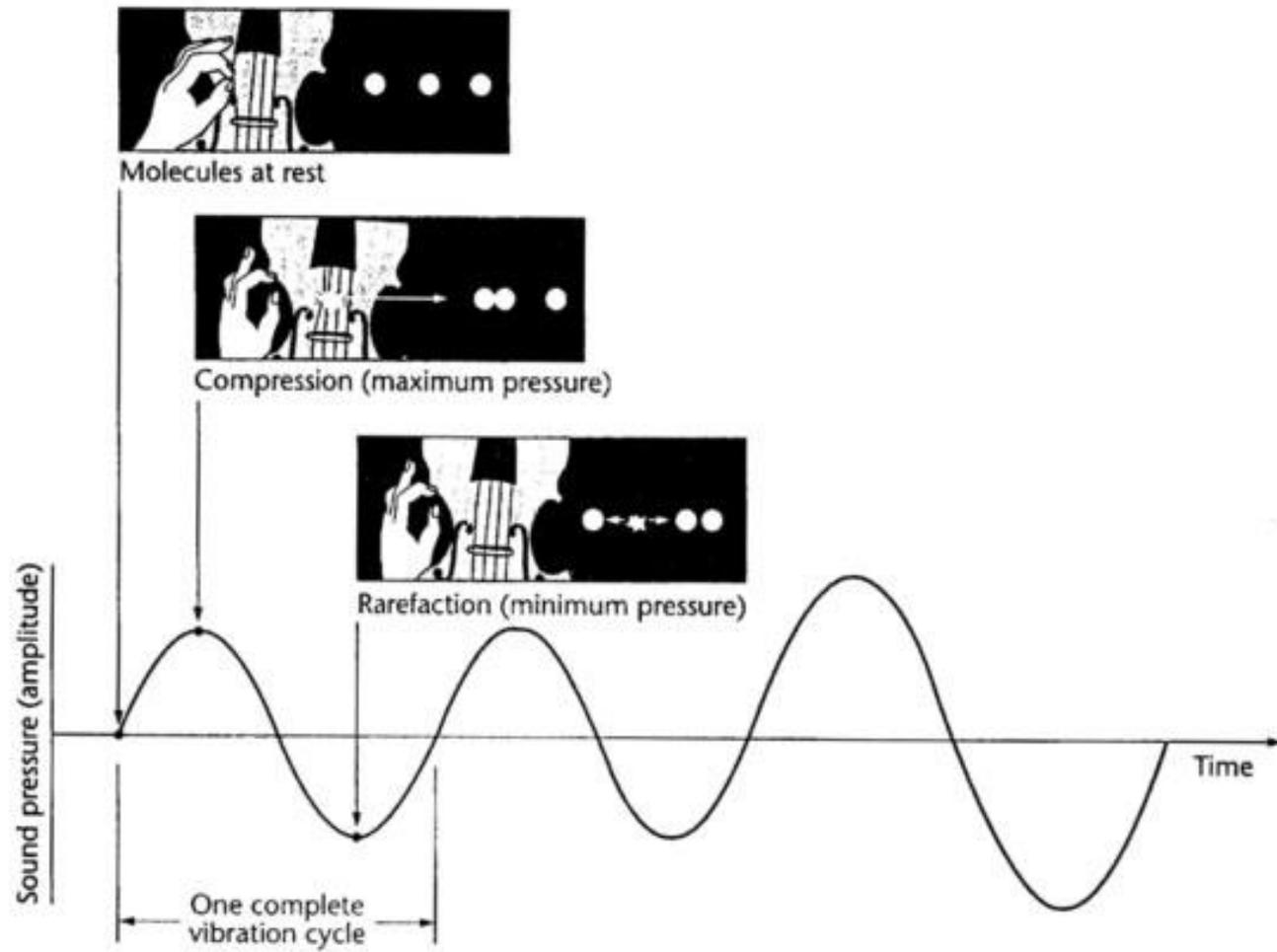
Ondas



Ondas



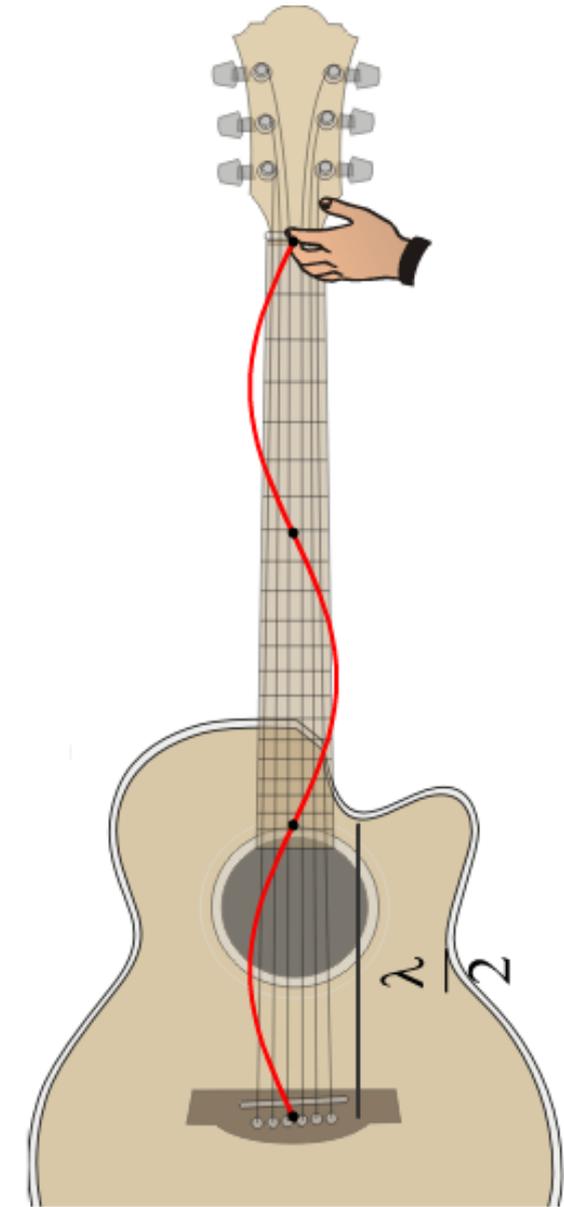
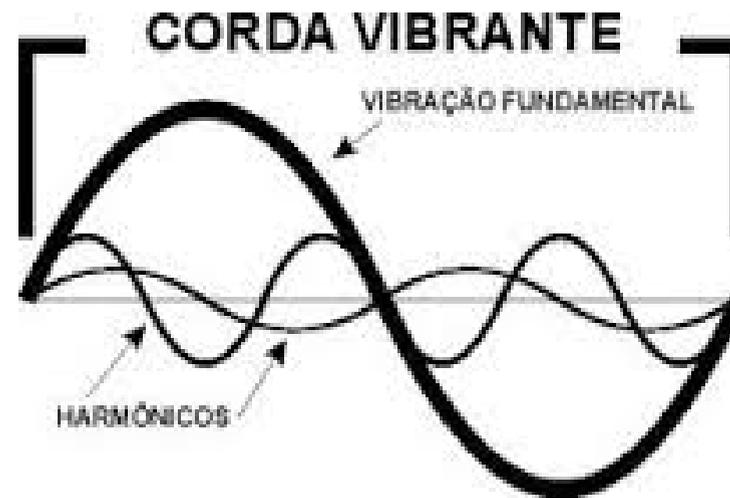
Som



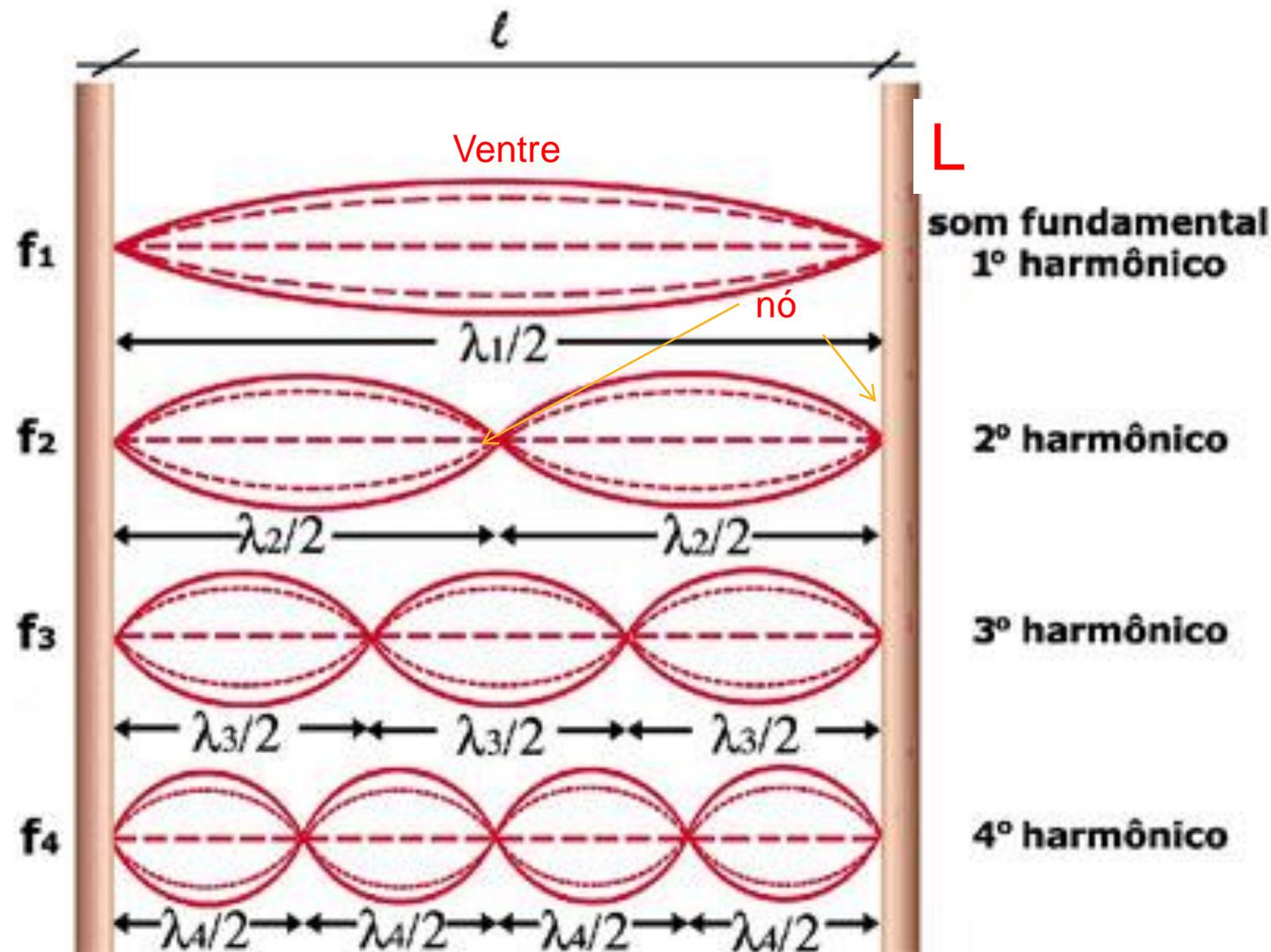
A corda vibrante

- Um fio tensionado submetido a uma vibração externa pode entrar em estado de ressonância.
- As frequências nas quais a ressonância é observada dependerá de alguns parâmetros.
 - Comprimento do fio (L)
 - Massa do fio (M)
 - Densidade linear do fio ($\mu=M/L$)
 - Tensão aplicada (T)
 - O modo de vibração (n)
 - Condições de contorno.

$$\Psi(x, t) = A \sin(\omega t \pm kx)$$



Modos normais de vibração de um fio de comprimento L .



$$n \frac{\lambda_n}{2} = L$$

$$\omega_n = \frac{2\pi}{\lambda_n} v = n\pi \frac{v}{L}$$

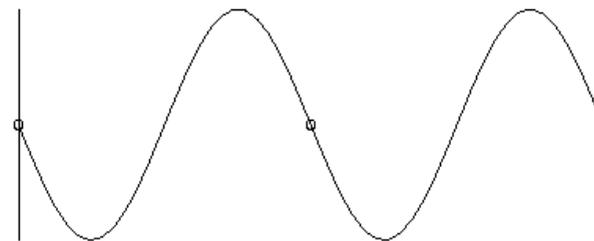
$$n = 1$$
$$\lambda = 2L$$

$$n = 2$$
$$\lambda = L$$

$$n = 3$$
$$\lambda = 2L/3$$

Onda harmônica

- Fundamental – Onda harmônica
- A primeira é uma onda senoidal em **440Hz**.
- O segundo adiciona um harmônico em **880Hz**.
- A terceira adiciona outro harmônico em **1760 Hz**.



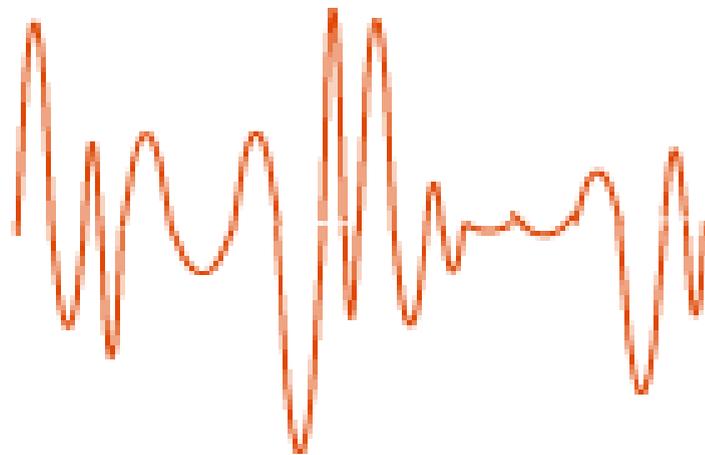
SOM PELA MÚSICA

Parâmetros sonoros

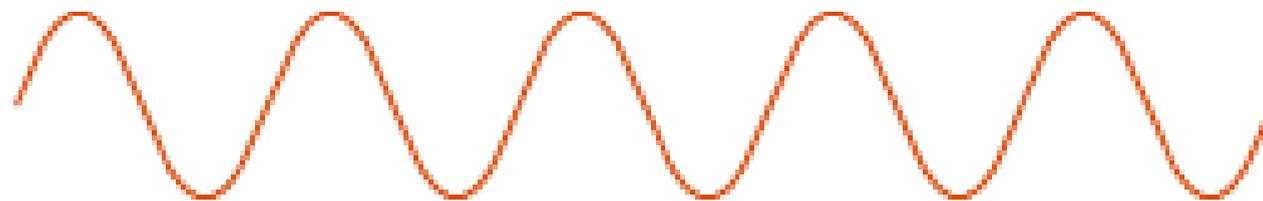
Intensidade (volume)
Duração
Altura
Timbre

O ruído envolve várias frequências e mudanças aleatórias tanto na frequência quanto amplitude

Noise



Tone



Parâmetros sonoros pela música

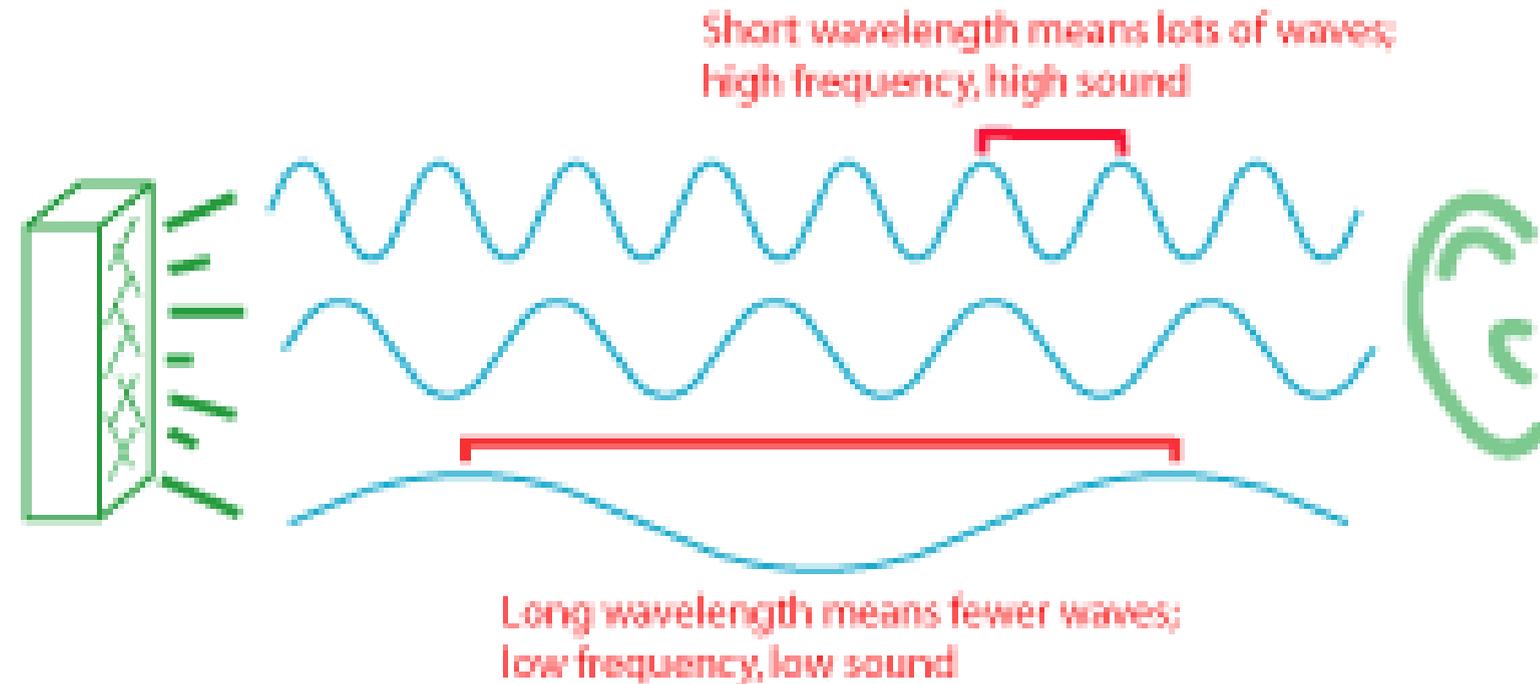
Intensidade (volume)
Duração
Altura
Timbre

A frequência dos comprimentos de onda determina a “altura” do tom. (PITCH)

The waves are all travelling at about the same speed, so this is the number of each wave that will reach the ear in a hundredth of a second.

Frequency

The longer the wavelength, the lower the frequency, and the lower the sound.



Parâmetros sonoros pela música

Intensidade (volume)
Duração
Altura
Timbre

Higher
Amplitude



Lower
Amplitude



Higher
Amplitude



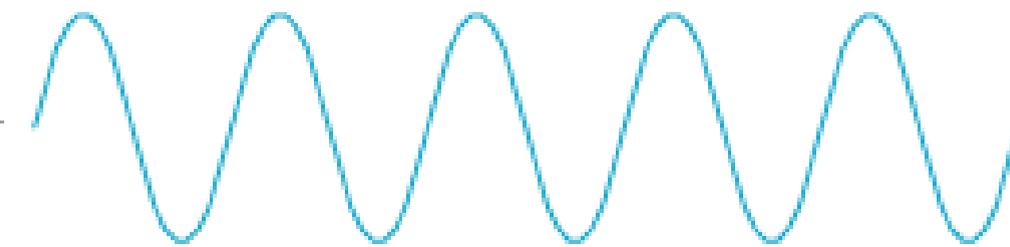
Lower
Amplitude



Amplitude

The **bigger the difference** in the highs and lows of the waves, the **louder the sound**.

Louder



Softer



A amplitude afeta o volume de um tom - quanto maior a amplitude, mais alto.

Parâmetros sonoros pela música

A dinâmica é o termo musical para a amplitude (nível de volume) da música.

mf "mezzo forte" (pronounced "MET-so FOR-tay") = medium loud

f "forte" (pronounced "FOR-tay") = loud

ff "fortissimo" = very loud

fff "fortississimo" = very, very loud

ffff and so on

mp "mezzo piano" = medium soft

p "piano" = soft

pp "pianissimo" = very soft

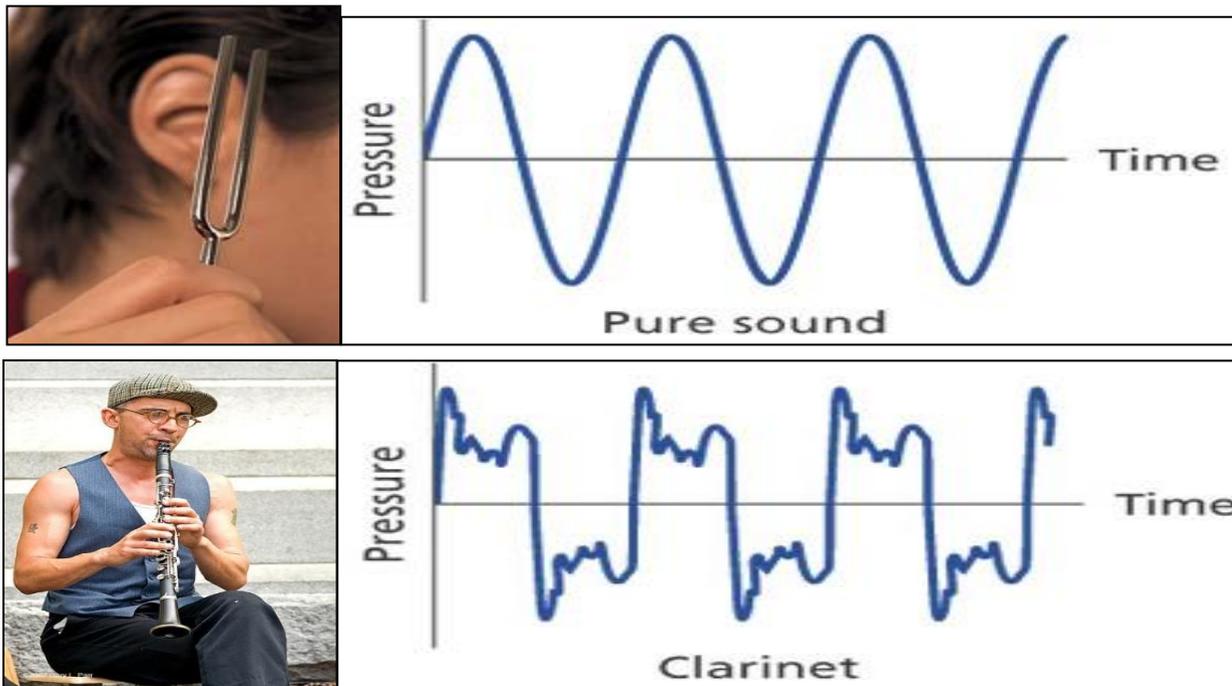
ppp "pianississimo" = very, very soft

pppp and so on

Timbre

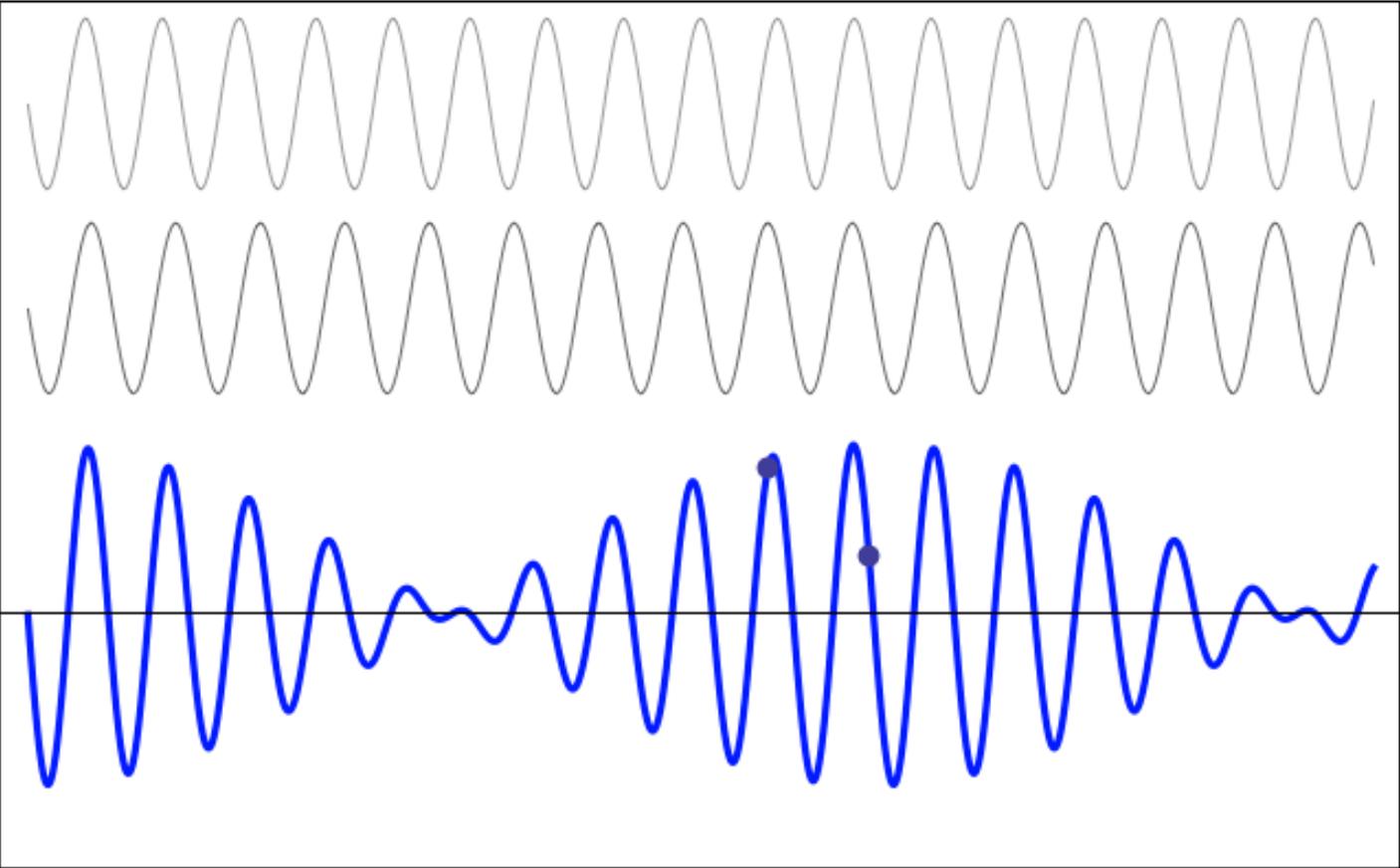
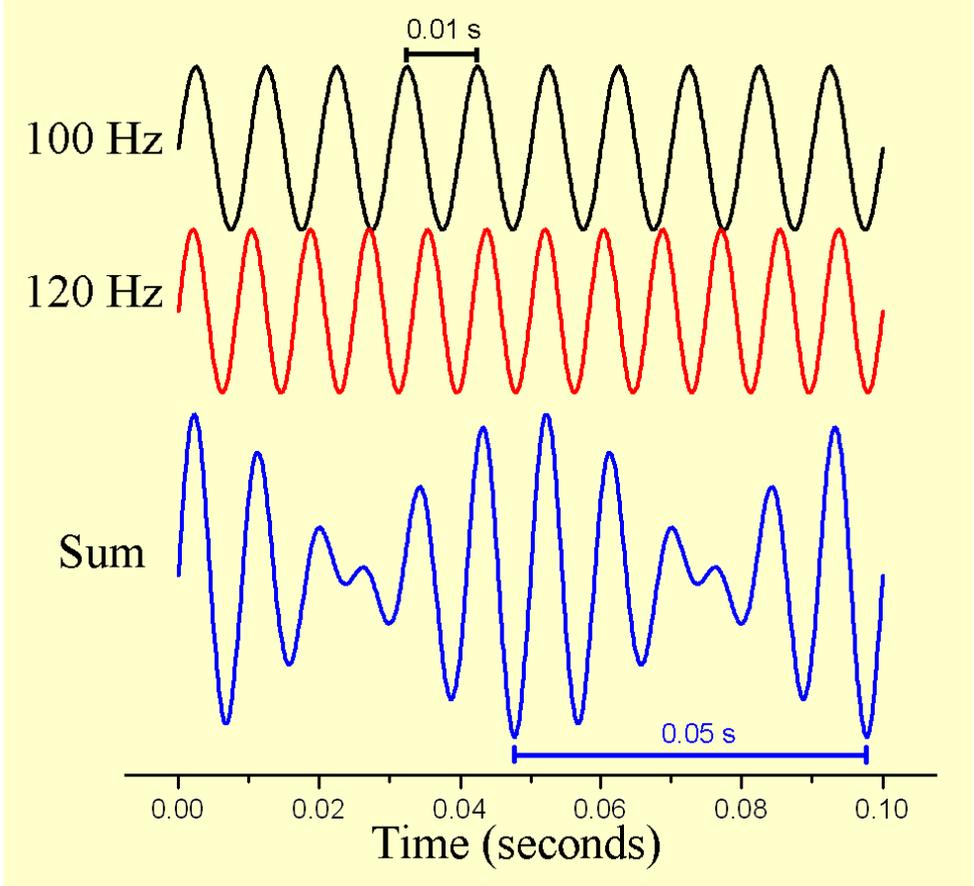
Um dos elementos básicos da música é chamado de cor, ou timbre.

O timbre inclui todos os aspectos de um som não correlacionados a quão alto ou baixo é, quão estridente ou baixo, ou quão longo ou curto.

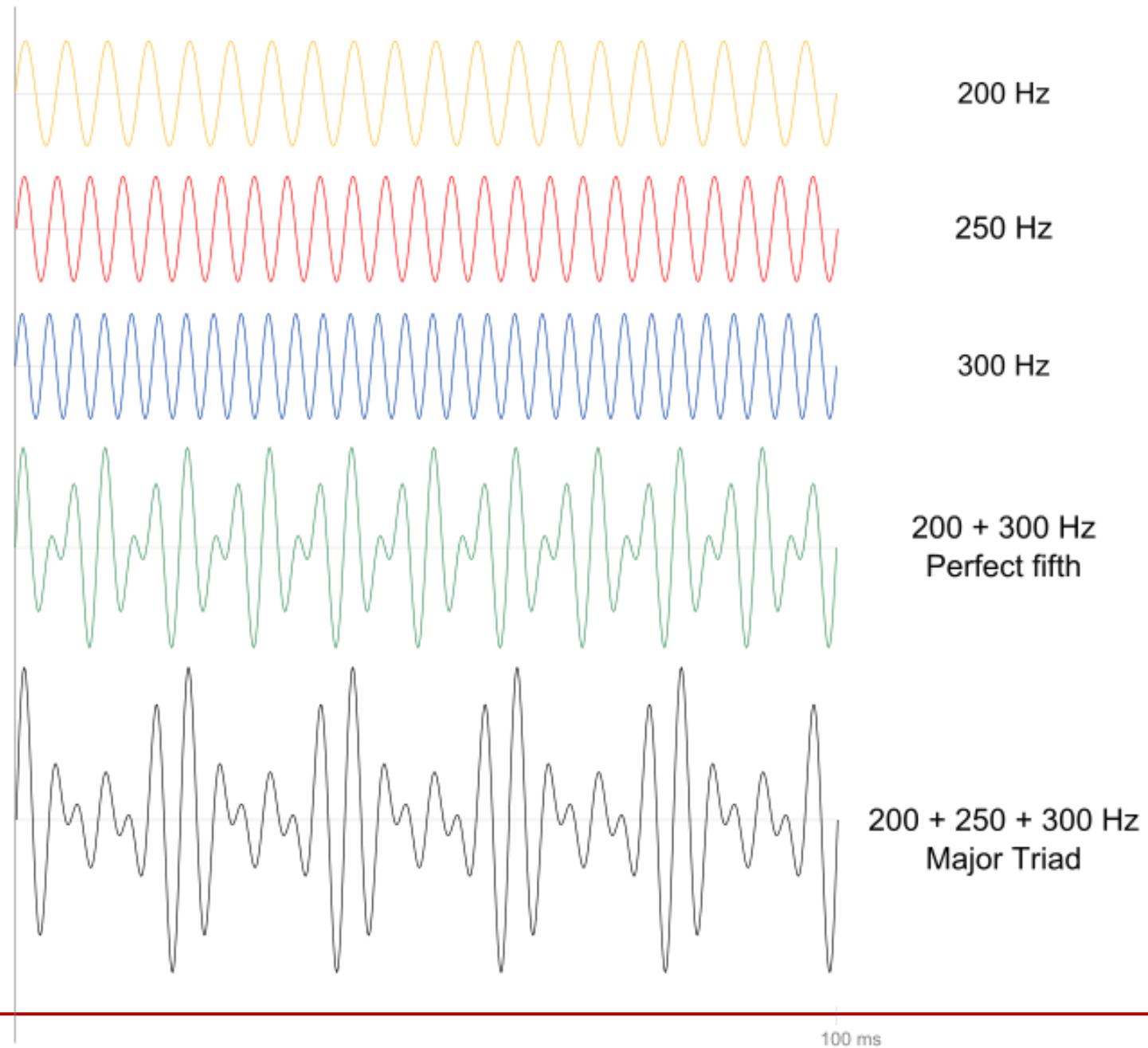


Interferência construtiva de frequências múltiplas
(o fundamental e vários harmônicos)

Tons puros com atraso



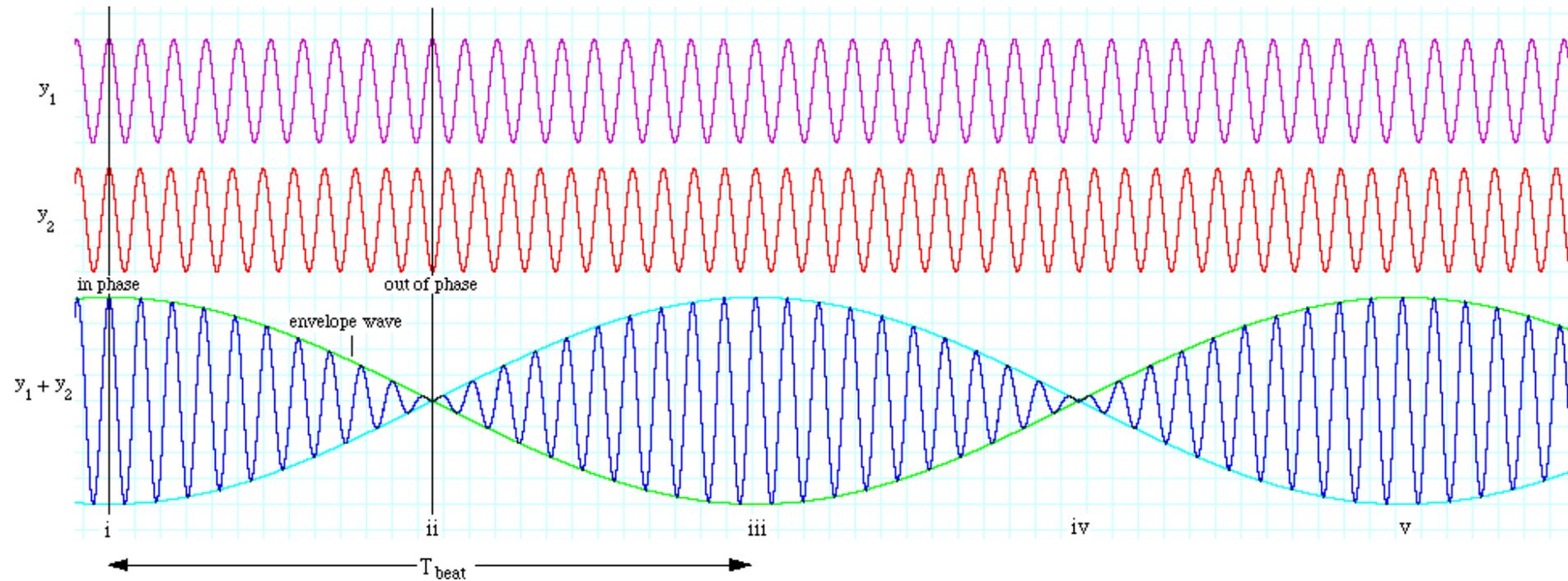
Batimentos e notas musicais



Experimento - Batimentos

- | | | |
|----|----------------|-------------------------------------------|
| 1. | 400 & 400.5 Hz | 1 batimento a cada 2 segundos |
| 2. | 400 & 401 Hz | 1 batimento por segundo |
| 3. | 400 & 403 Hz | 3 batimentos por segundo |
| 4. | 400 & 410 Hz | 10 batimentos por segundo |
| 5. | 400 & 420 Hz | você |
| 6. | 400 & 430 Hz | ainda consegue ouvir... |
| 7. | 400 & 440 Hz | os batimentos de interferência ? |
| 8. | 400 & 450 Hz | Razão da frequência 9:8 é um tom maior. |
| 9. | 400 & 480 Hz | Razão da frequência 6:5 é uma terça menor |
| 10 | 400 & 500 Hz | Razão da frequência 5:4 é uma terça maior |
| 11 | 400 & 533 Hz | Razão da frequência 4:3 quarta perfeita |
| 12 | 400 & 600 Hz | Razão da frequência 3:2 quinta perfeita |
| 13 | 400 & 667 Hz | Razão da frequência 5:3 sexta maior |
| 14 | 400 & 800 Hz | Razão da frequência 2:1 oitava |
-

Batimentos e notas musicais



$$Y_{\text{total}} = \{2A \cos(2\pi \Delta f/2)\} * \cos(2\pi f_{\text{av}})$$

o número de batimentos por segundo é igual a diferença de frequência entre as duas ondas que interferem

Intervalos diatônicos

<i>Intervalo puro</i>	<i>Razão pura</i>	<i>Equivalente Decimal</i>
Unisono	1/1	1
Oitava	2/1	2
Quinta perfeita	3/2	1.5
Quarta perfeita	4/3	1.33333333333333...
Sexta Maior	5/3	1.66666666666666...
Terça Maior	5/4	1.25
Terça Menor	6/5	1.2
Sexta Menor	8/5	1.6
Segunda maior	9/8	1.125
Sétima maior	16/9	1.77777777777777...
Segunda menor	16/15	1.06666666666666...
Tritom	45/32 or 62/45	1.40625 or 1.42222222222222...

Dual-Tone Multi-Frequency

Dual-Tone Multi-Frequency (DTMF)
table of frequency combinations

"High Group" frequencies [Hz]
1209 1336 1477 1633

"Low Group" frequencies [Hz]
697
770
852
941

697	1	2	3	A	(Row 1)
770	4	5	6	B	(Row 2)
852	7	8	9	C	(Row 3)
941	*	0	#	D	(Row 4)

(Column 1) (Column 2) (Column 3) (Column 4)

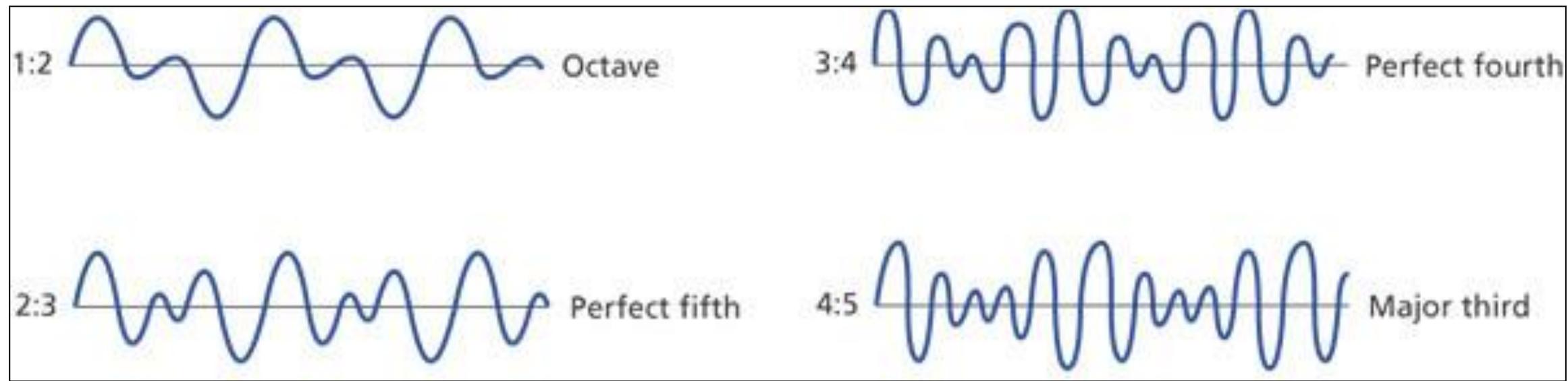
Desafinando ...

*“Se você insiste em classificar
Meu comportamento de anti-musical
Eu mesmo mentindo devo argumentar
Que isto é Bossa Nova, isto é muito natural”*

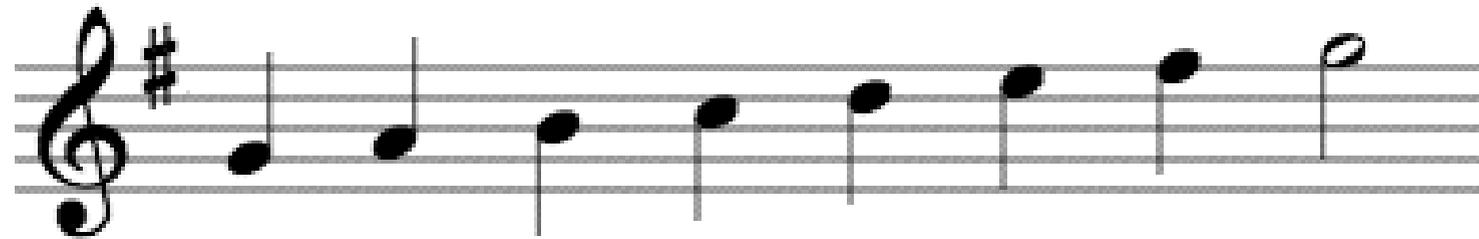
Consonância - quando uma combinação de sons tem um som agradável

Dissonância - quando uma combinação de sons tem um som desagradável

Culturas distintas têm diferentes definições e percepções
consonância e dissonância



Experimento - Escala musical



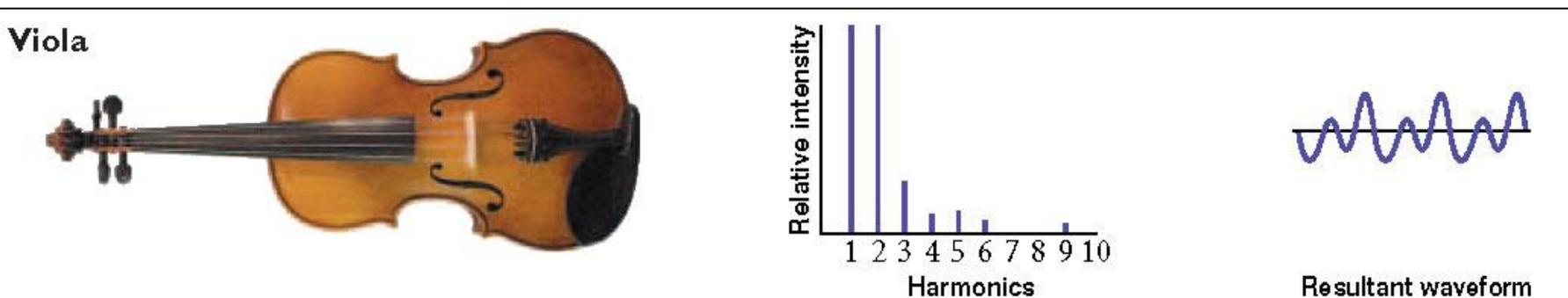
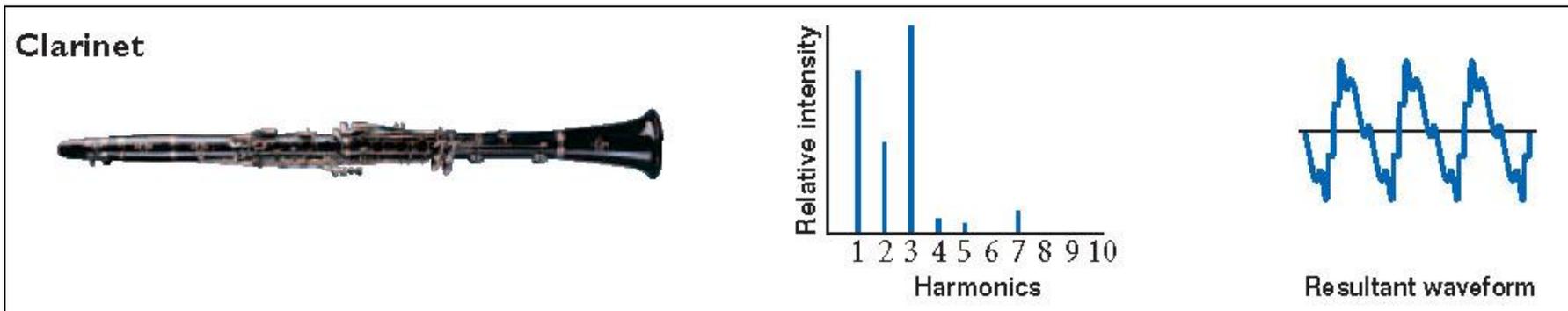
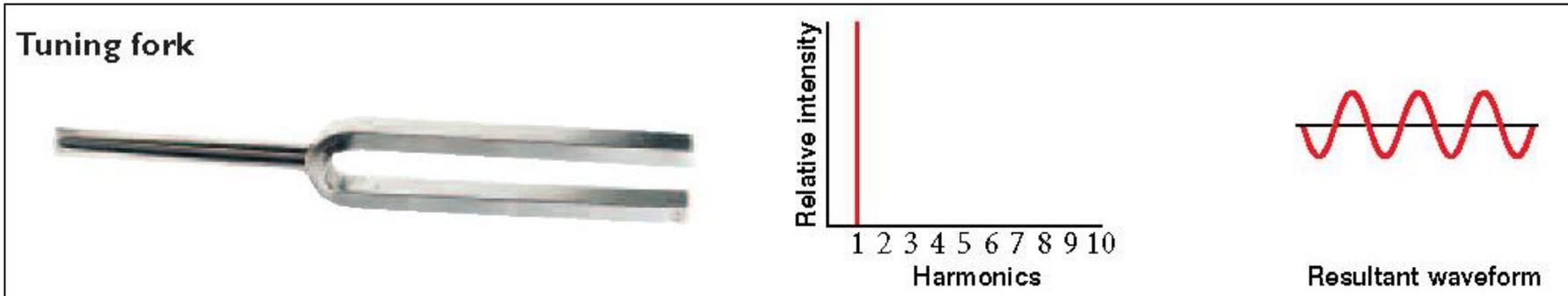
1:1 9:8 5:4 4:3 3:2 5:3 15:8 2:1
1st 2nd 3rd 4th 5th 6th 7th octave

Escala cromática

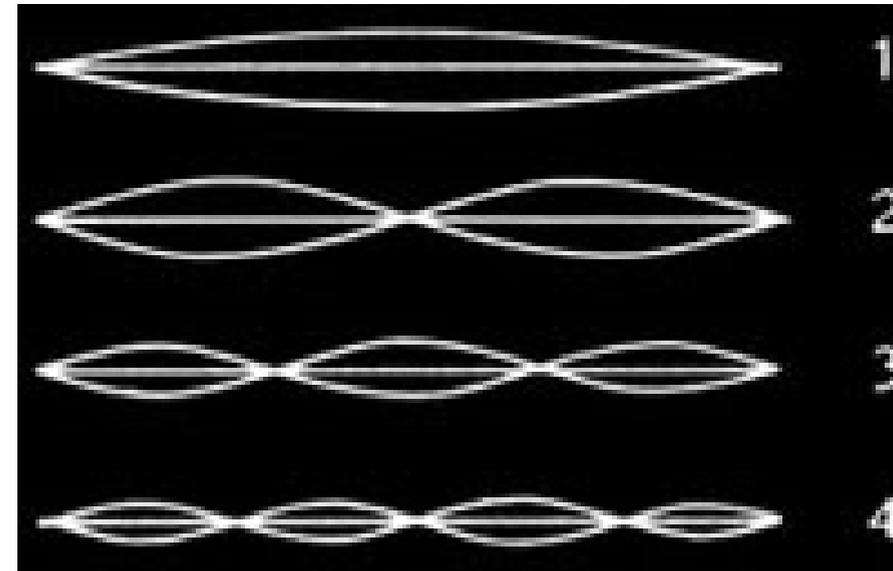
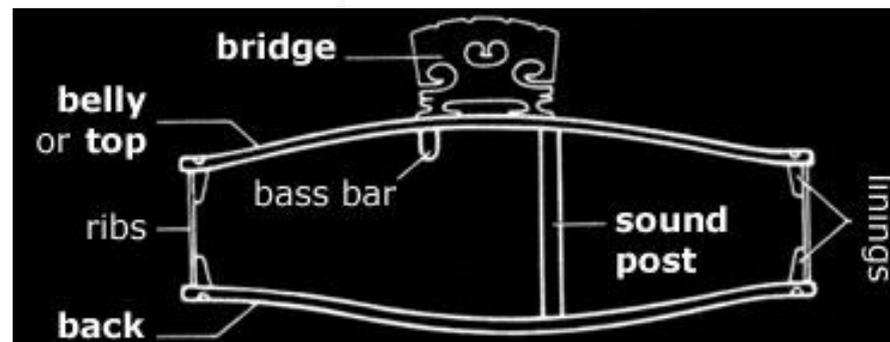
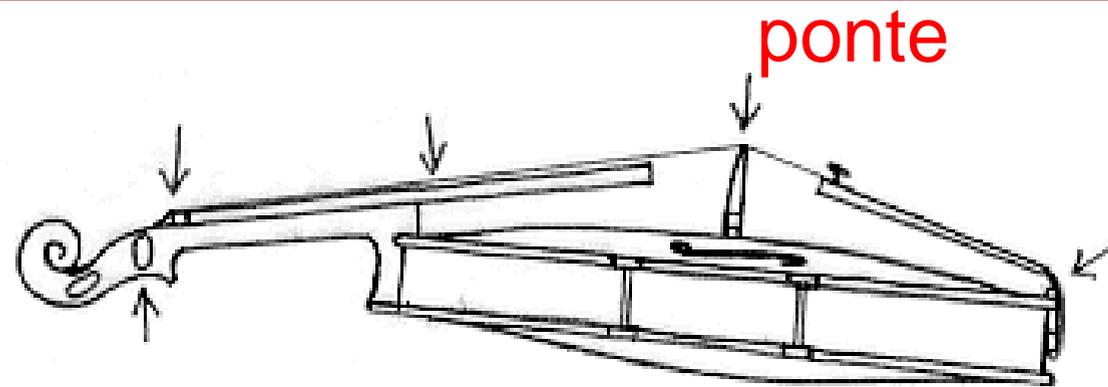
Nota	Dó	Dó#	Ré	Ré#	Mi	Fá	Fá#	Sol	Sol#	Lá	Lá#	Si
Intervalo temperado	1,0000	1,0595	1,1225	1,1892	1,2600	1,3348	1,4142	1,4983	1,5874	1,6818	1,7818	1,8877
Intervalo natural	1,0000		1,1250 = 9/8		1,250 = 5/4	1,3333 = 4/3		1,5000 = 3/2		1,6666 = 5/3		1,8750 = 15/8

A FÍSICA DE “ALGUNS” INSTRUMENTOS MUSICAIS

Instrumentos musicais



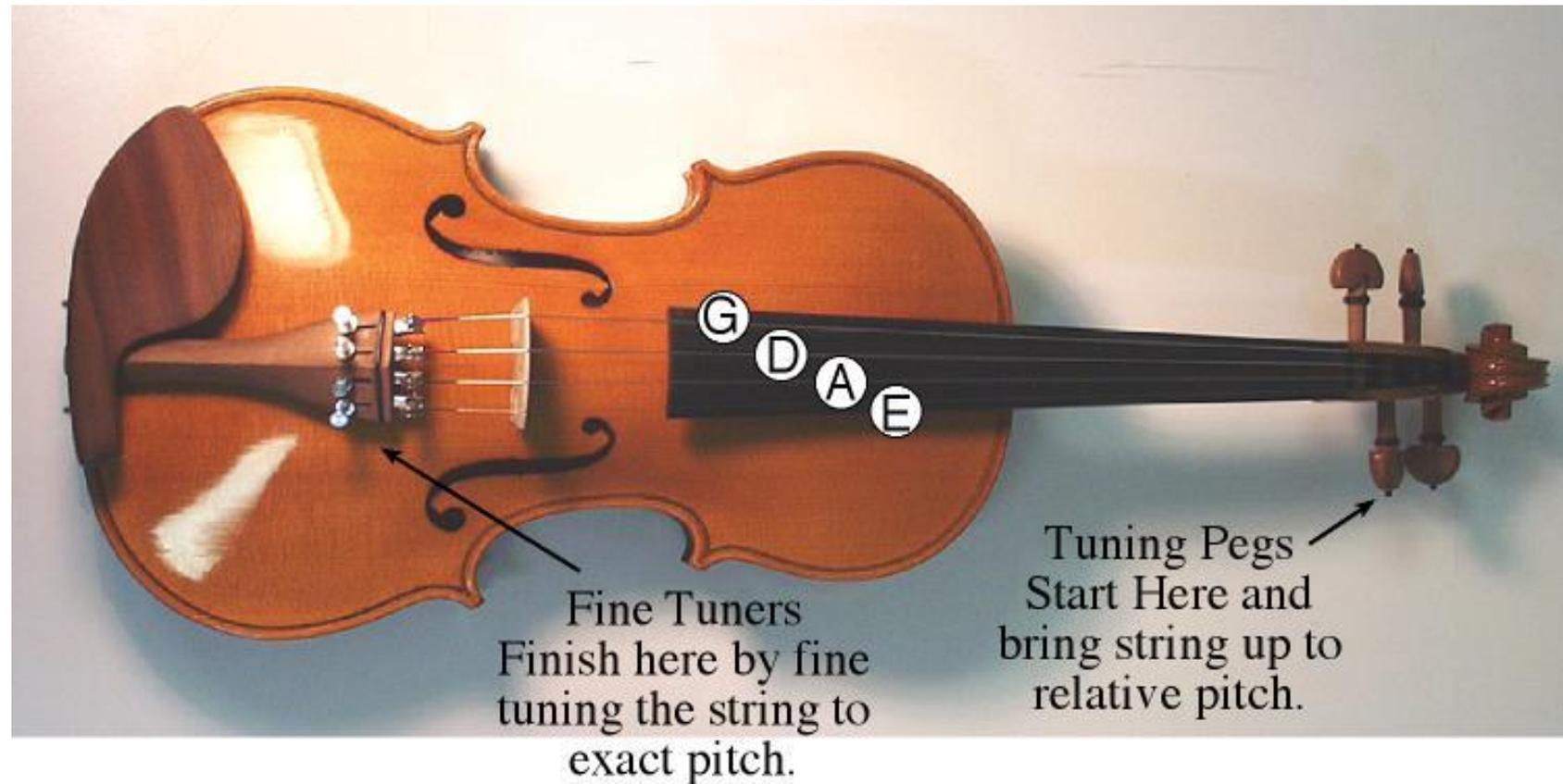
Instrumentos de arco



- O atrito da passagem do arco sobre as cordas, faz com que elas vibrem com diferentes modos harmônicos
- A energia é transferida de cordas para barriga através da ponte.
- A barriga e as costas do violino (via som) vibram.
- O som se propaga do violino através dos orifícios F

O violino é uma caixa de ressonância de madeira que amplifica a ondas sonoras das vibrações das cordas sobre ele esticadas .

Decifrando o violino



Cada corda tem uma massa diferente e frequência fundamental f_0 (altura)

G₃ (196 Hz) - vibra mais devagar - grave e imponente

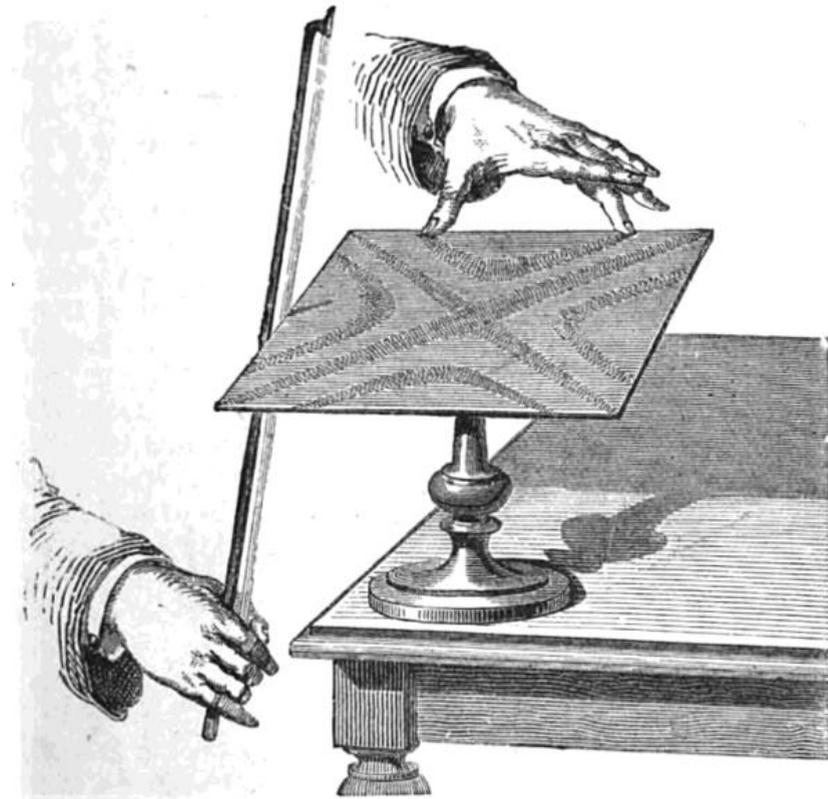
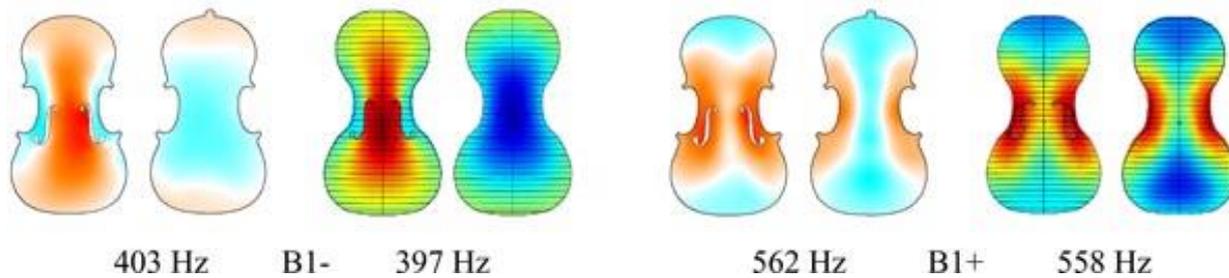
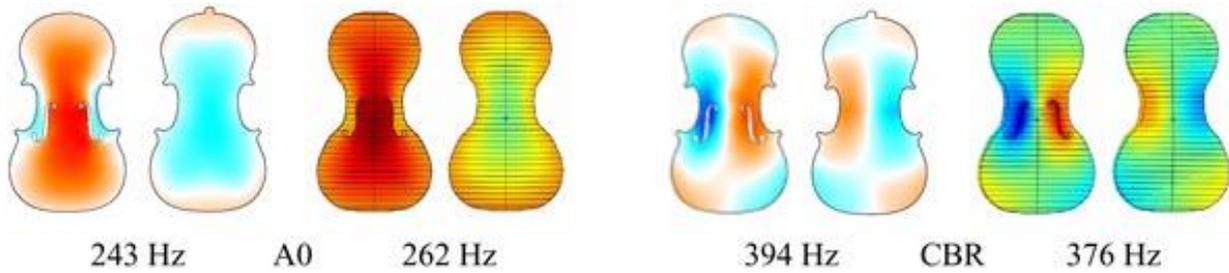
D₄ (293 Hz) - sonoridade profunda

A₄ (440 Hz) - sugere doçura e delicadeza

E₅ (660 Hz) - um fio de aço fino: vibra mais rapidamente - brilhante e incisiva

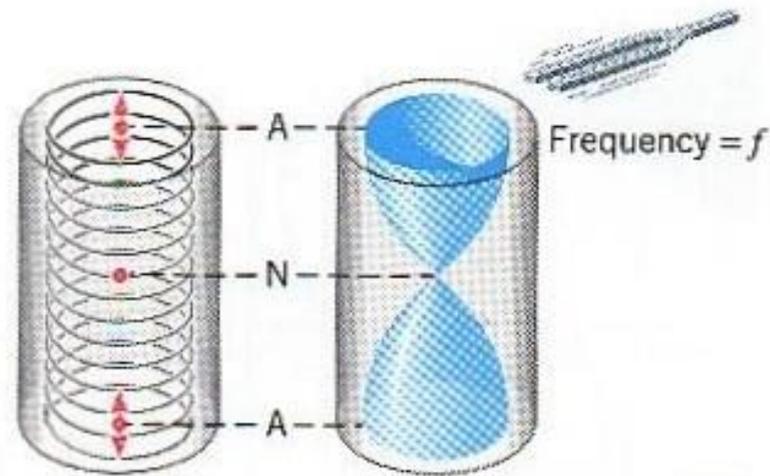
Frequência - controlada pelo comprimento da corda, tensão, temperatura.

Modos vibracionais do violino

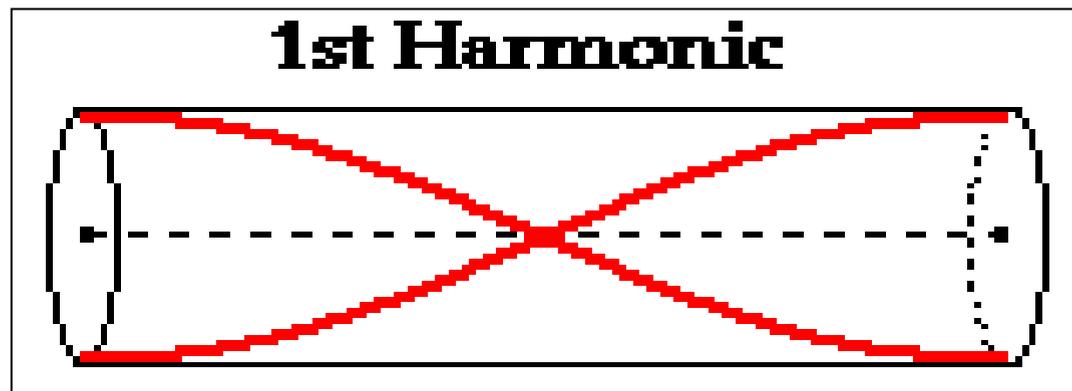


Ernst Chladni

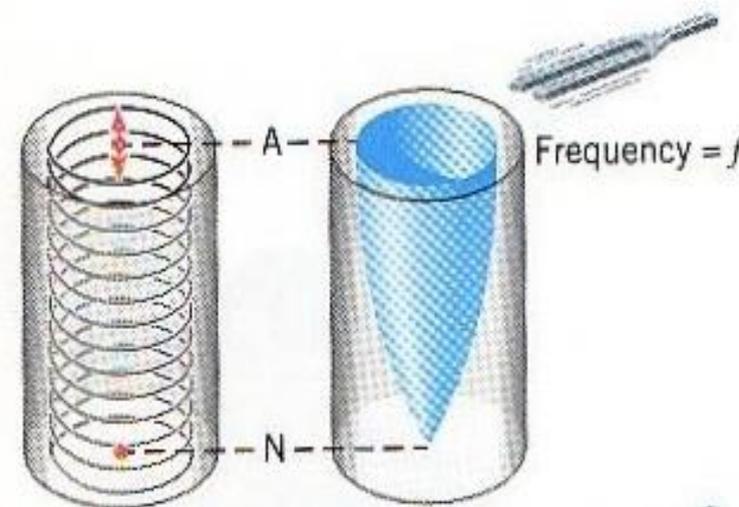
Instrumentos de sopro (colunas de ar)



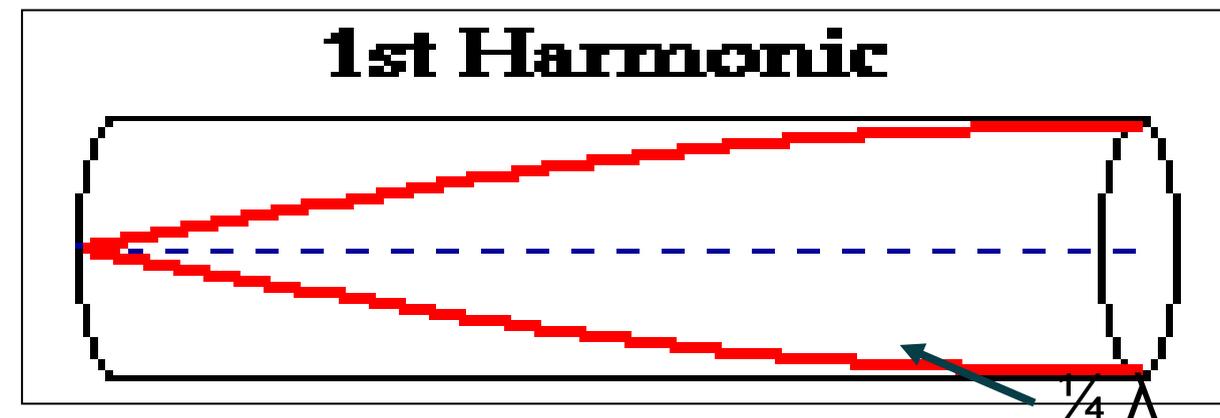
Extremidades abertas = anti-nós do deslocamento
Extremidades fechadas = nós de deslocamento



O comprimento de onda para a frequência fundamental é duas vezes o comprimento do tubo



Extremidades abertas = nós do deslocamento
Extremidades fechadas = anti-nós de deslocamento

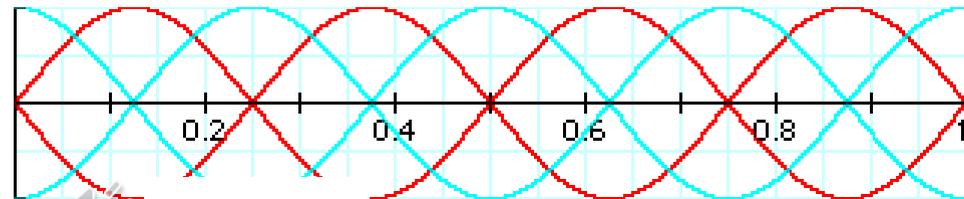
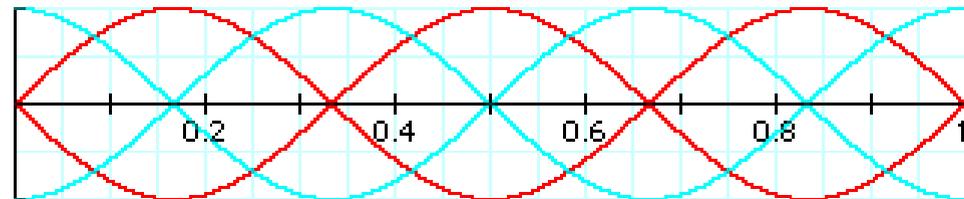
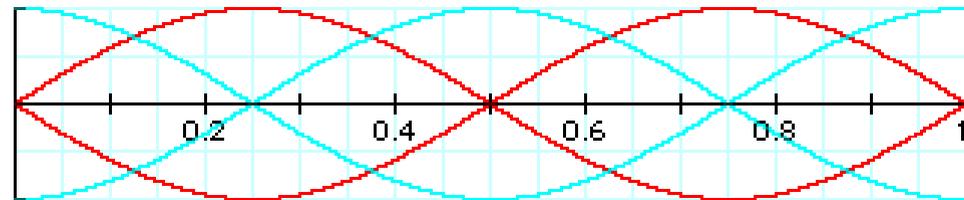
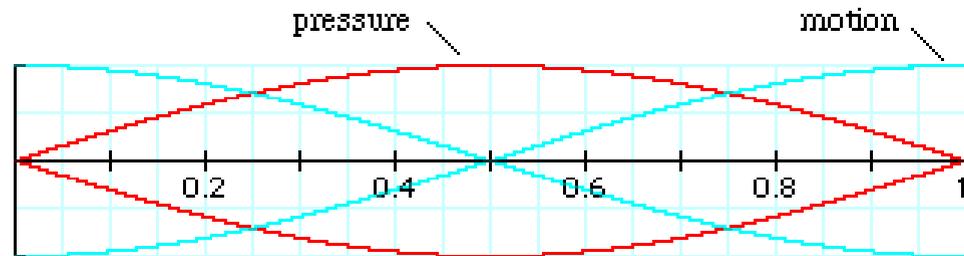
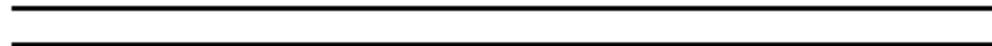


O comprimento de onda para a frequência fundamental é quatro vezes o comprimento do tubo

Instrumentos de sopro



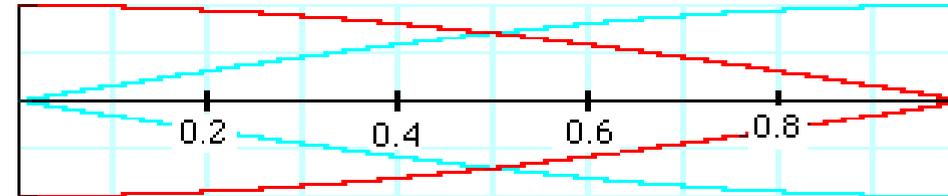
IR



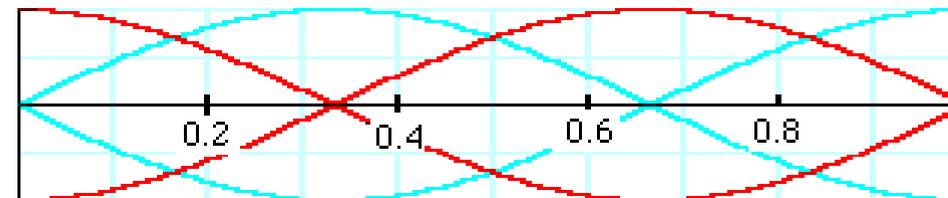
Flauta



IR

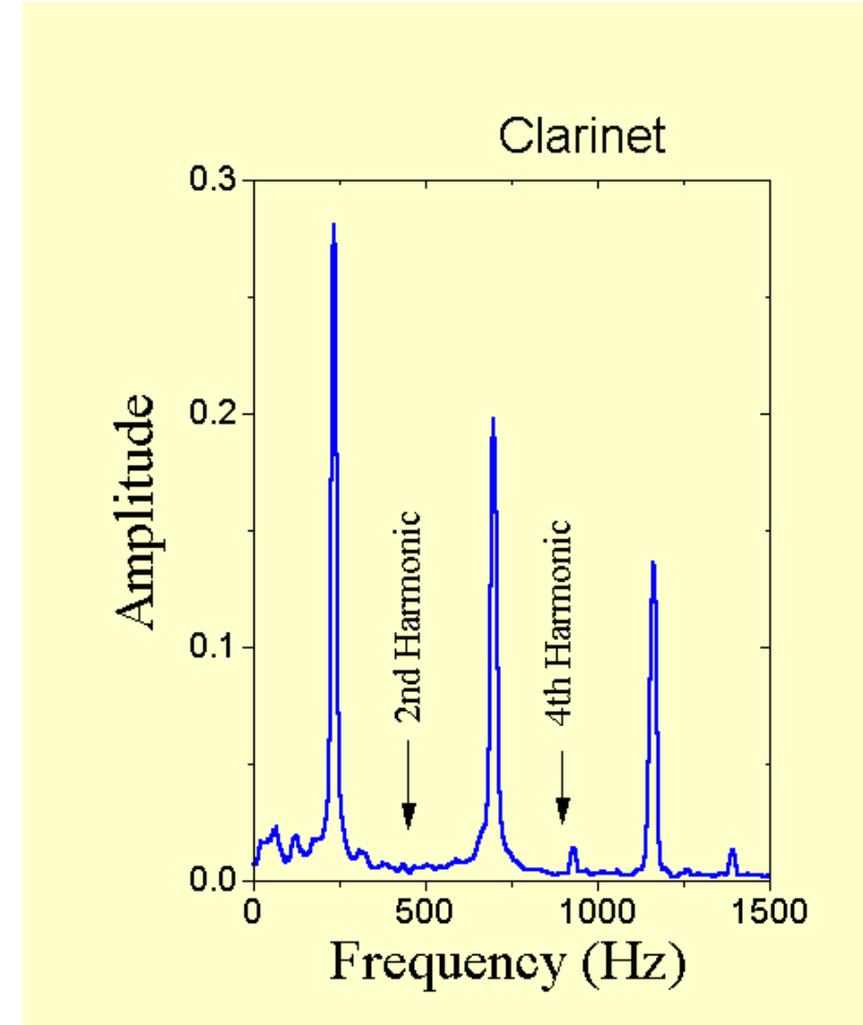
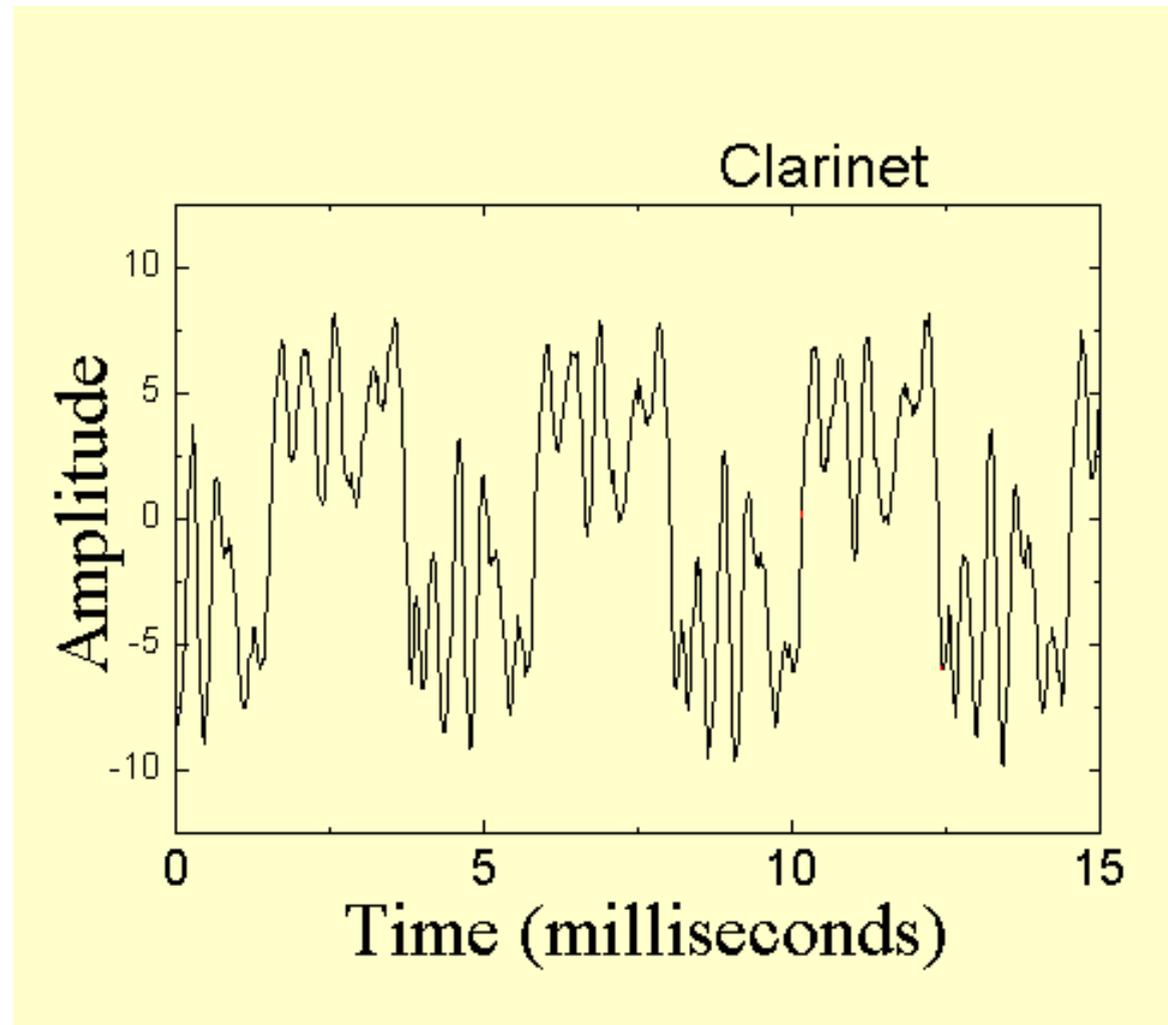
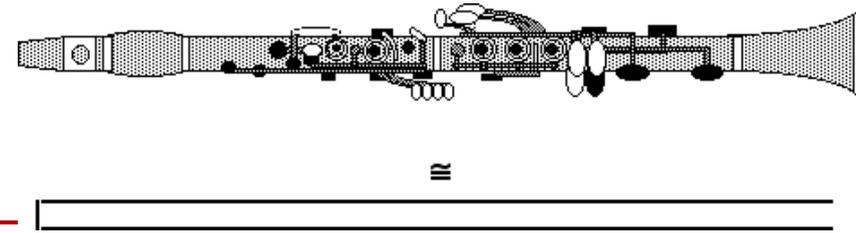


Ausência dos harmônicos pares



Clarinete

Instrumentos de sopro



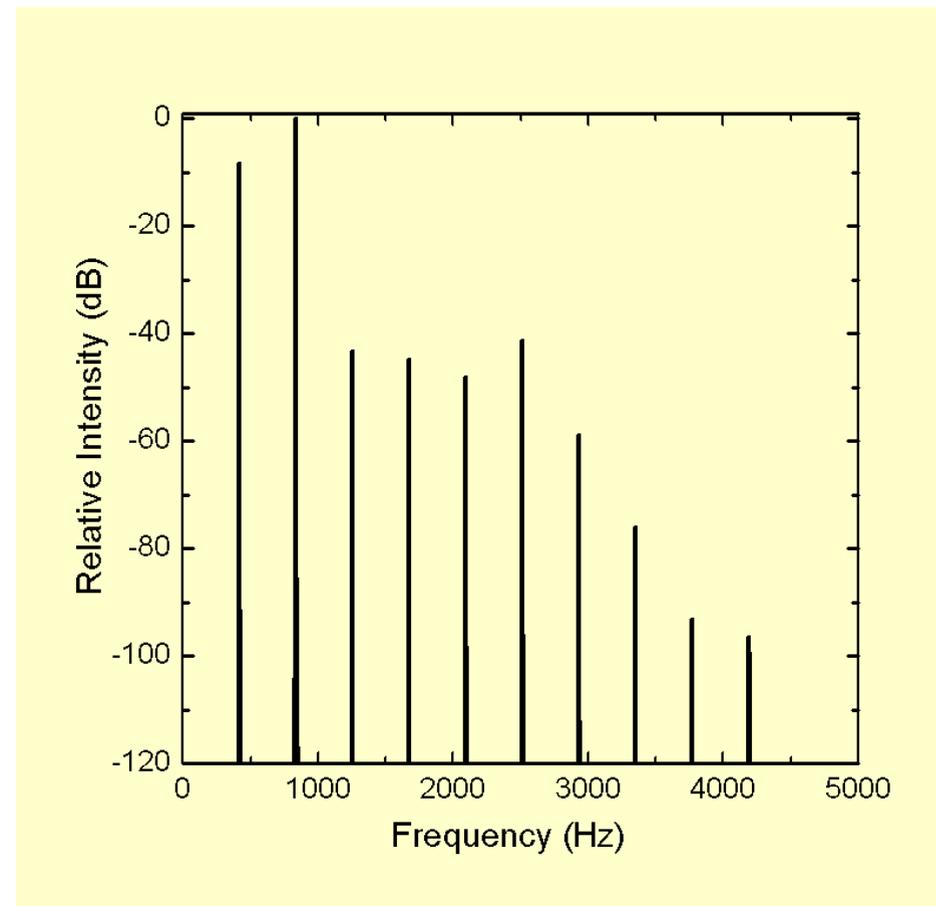
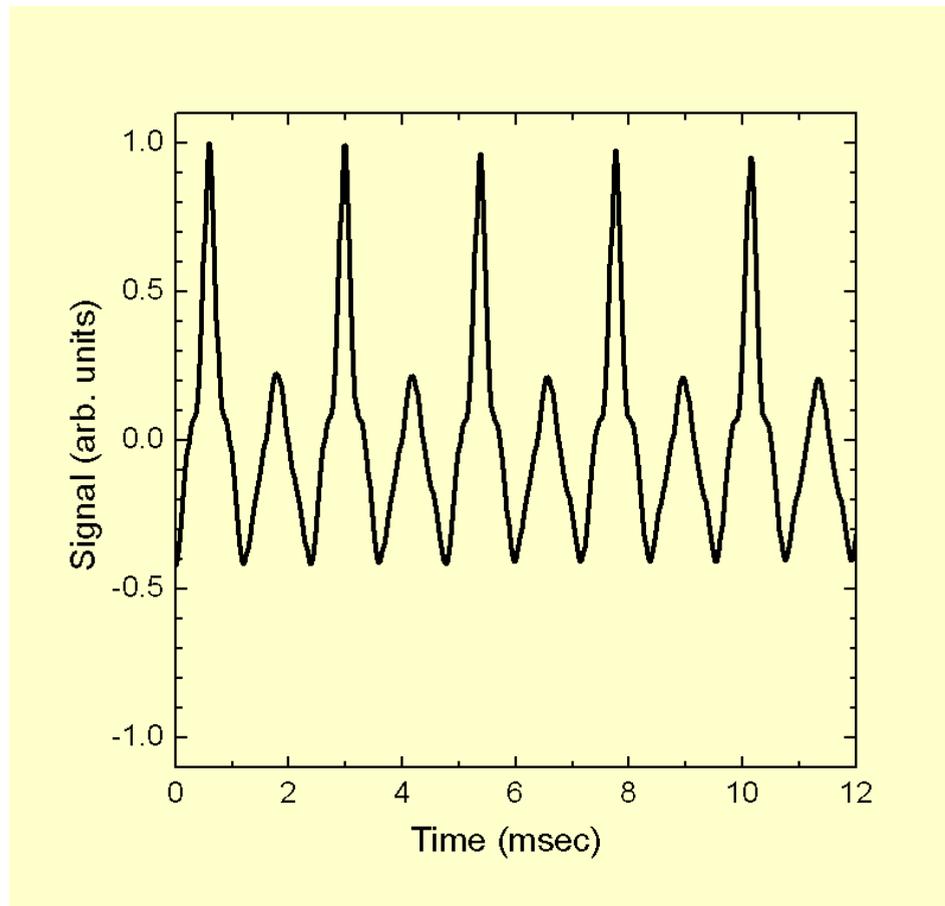
Ausência dos harmônicos pares no espectro

A ausência é mesmo harmônica é (parte de) o que é responsável pelo som "quente" ou "escuro" de um clarinete em comparação com o som "brilhante" de um saxofone.

Instrumentos de sopro



Saxofone



Ausência dos harmônicos pares no espectro

A ausência desses harmônicos é a responsável pelo som "quente" ou "escuro" de um clarinete em comparação com o som "brilhante" de um saxofone.

EXPERIMENTAÇÕES MUSICAIS BASEADAS NA FÍSICA

Experimentações musicais



O compositor Hans-Joachim Koellreutter e o pianista Sérgio Villafranca lêem a partitura esférica de Acronon



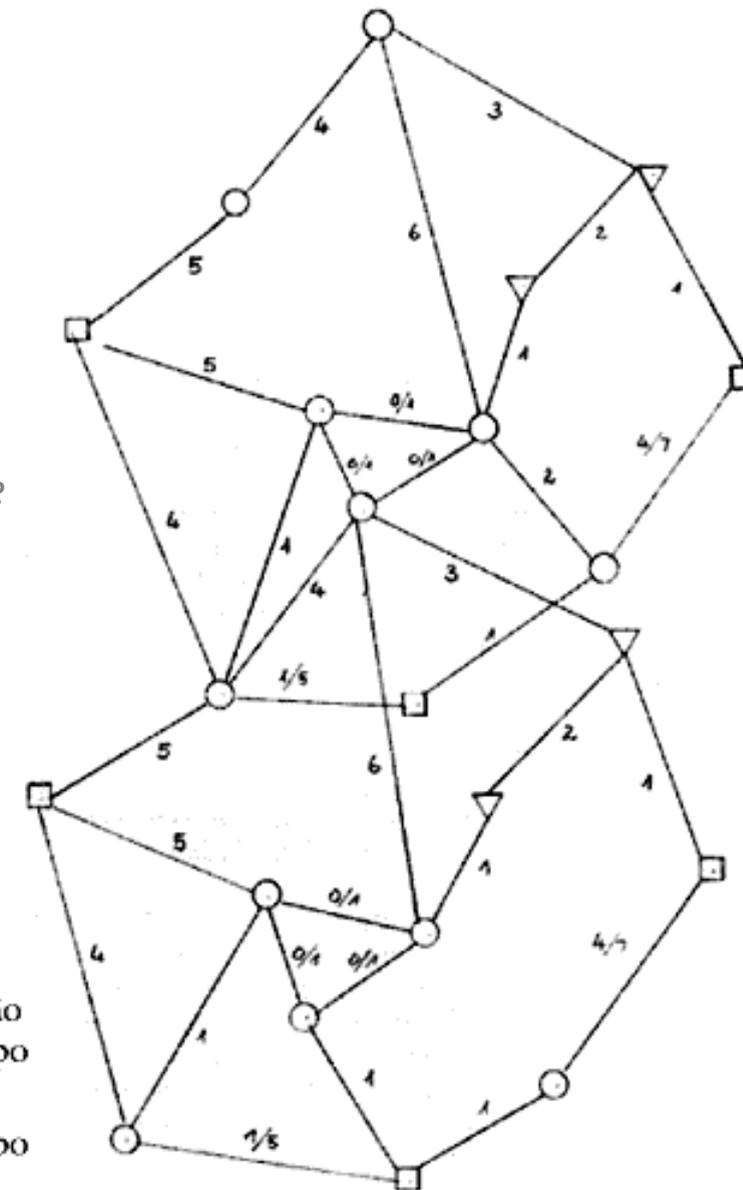
Estética relativista do impreciso e paradoxal

Diagrama do ensaio musical Wu-li, de H.J. Koellreutter

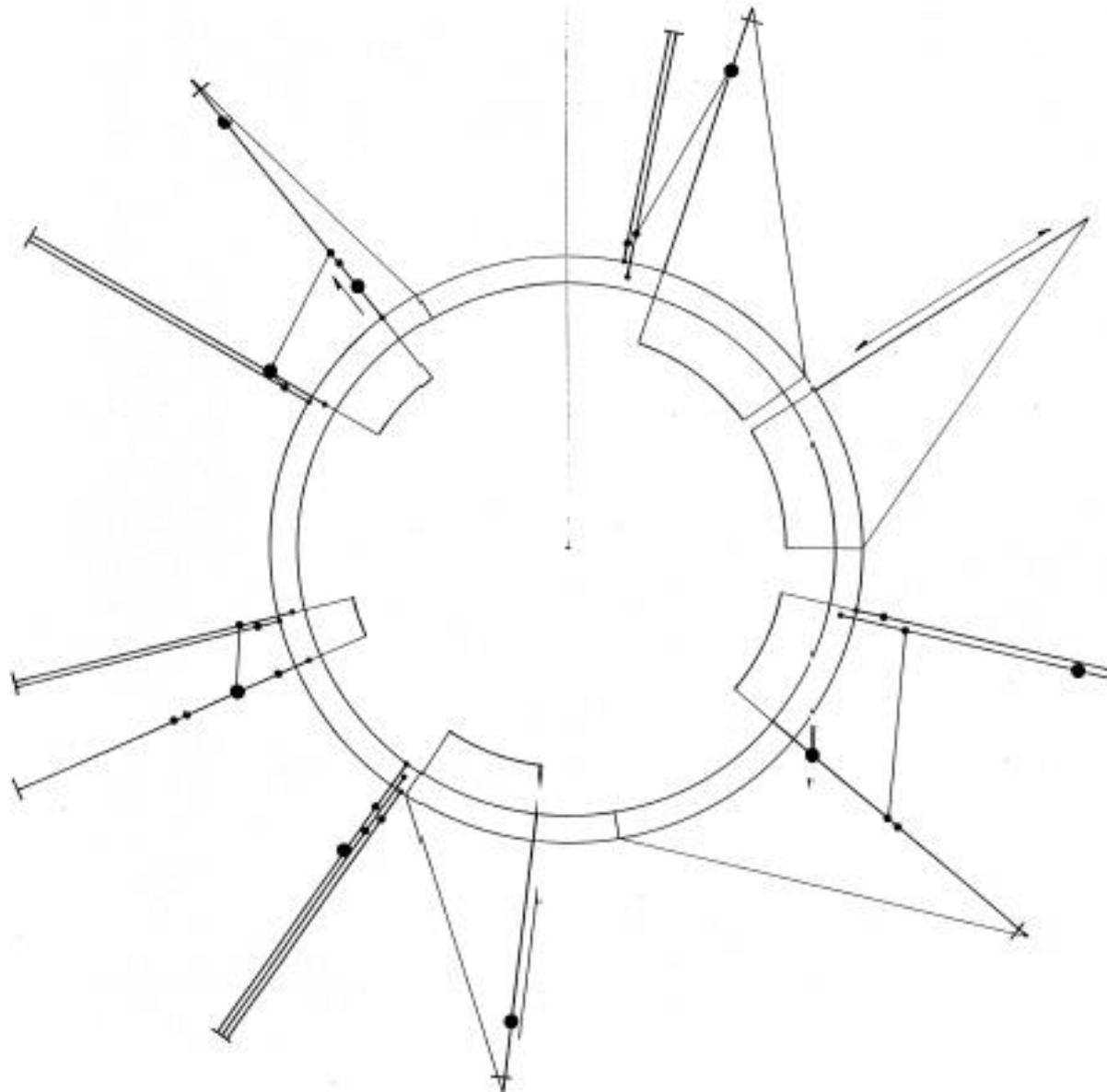
*Unir-se e
limitar-se
fundar o meio e
crescer
partilhar o meio e
crescer nas partes
estar nas partes e
tornar-se transparente
unir-se e
limitar-se*

Supersoposição dos diagramas:

- UT = Unidade de tempo
a critério do intérprete
- = som ou pausa de duração
de 1-2 unidades de tempo
- △ = som, pausa ou silêncio
de 4-8 unidades de tempo
- = som ou silêncio
de 10-20 unidade de tempo



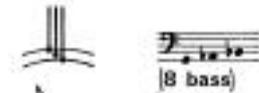
Experimentações musicais



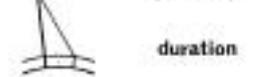
STUDY FOR VIBRATION

tempo—possibly slow

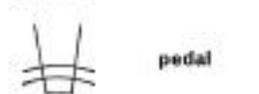
play on strings



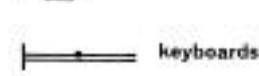
[B bass]



duration



pedal



keyboards



pizzicato



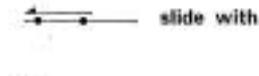
strong



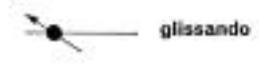
soft



slide with finger



glissando with wood, rubber or metal



continuous glissando with rubber or metal



Corona (Takemitsu)



Munari by Munari – Tori Takemitsu

Ouçá os **sons** de pedras e da madeira

Friccione o **instrumento**, aprecie seus sons

Respire as badaladas dos sinos como vento

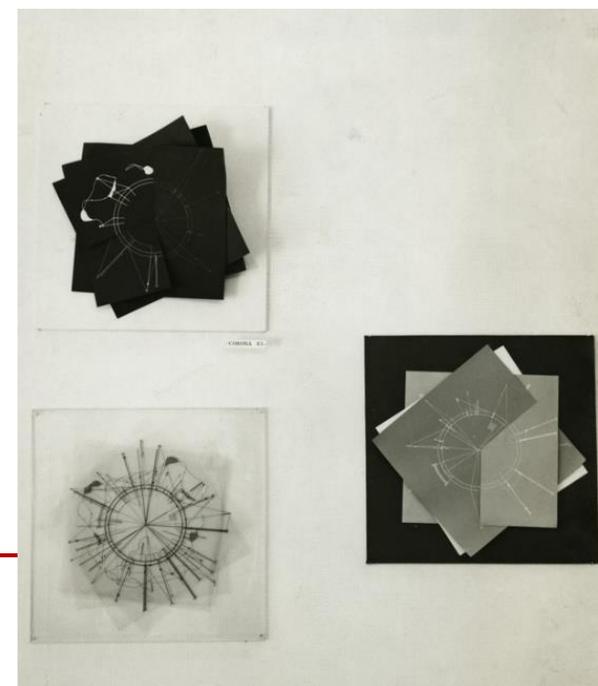
Obtenha os vários **sobretons** de um instrumento com a voz

É possível que o som reflita o som como um espelho?

Flutue-o no ar

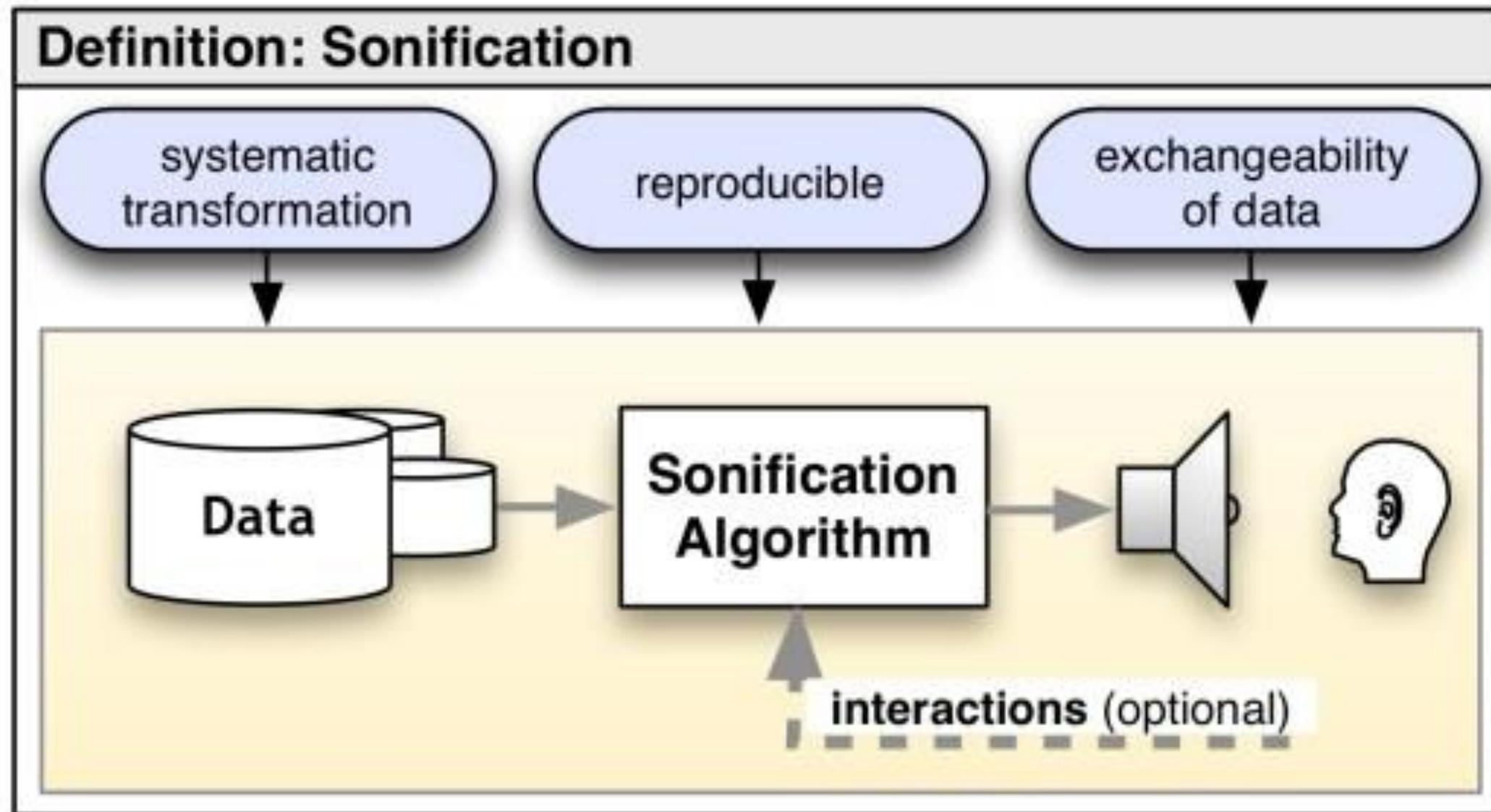
Mantenha uma nota e, em seguida, faça vários **glissandos** tão longos quanto possível

Ouçá os **sons da água**.



SONIFICAÇÃO: MÚSICA ATRAVÉS DA FÍSICA

Sonificação



Sonificação

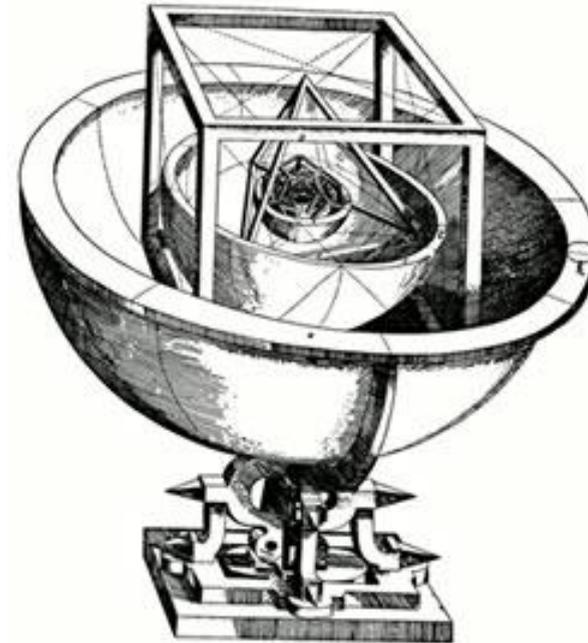


Diagram illustrating the sonification of planetary positions, showing musical notation for Saturnus, Jupiter, Mars ferè, Terra, Venus, Mercurius, and Hic locum habet etiam.

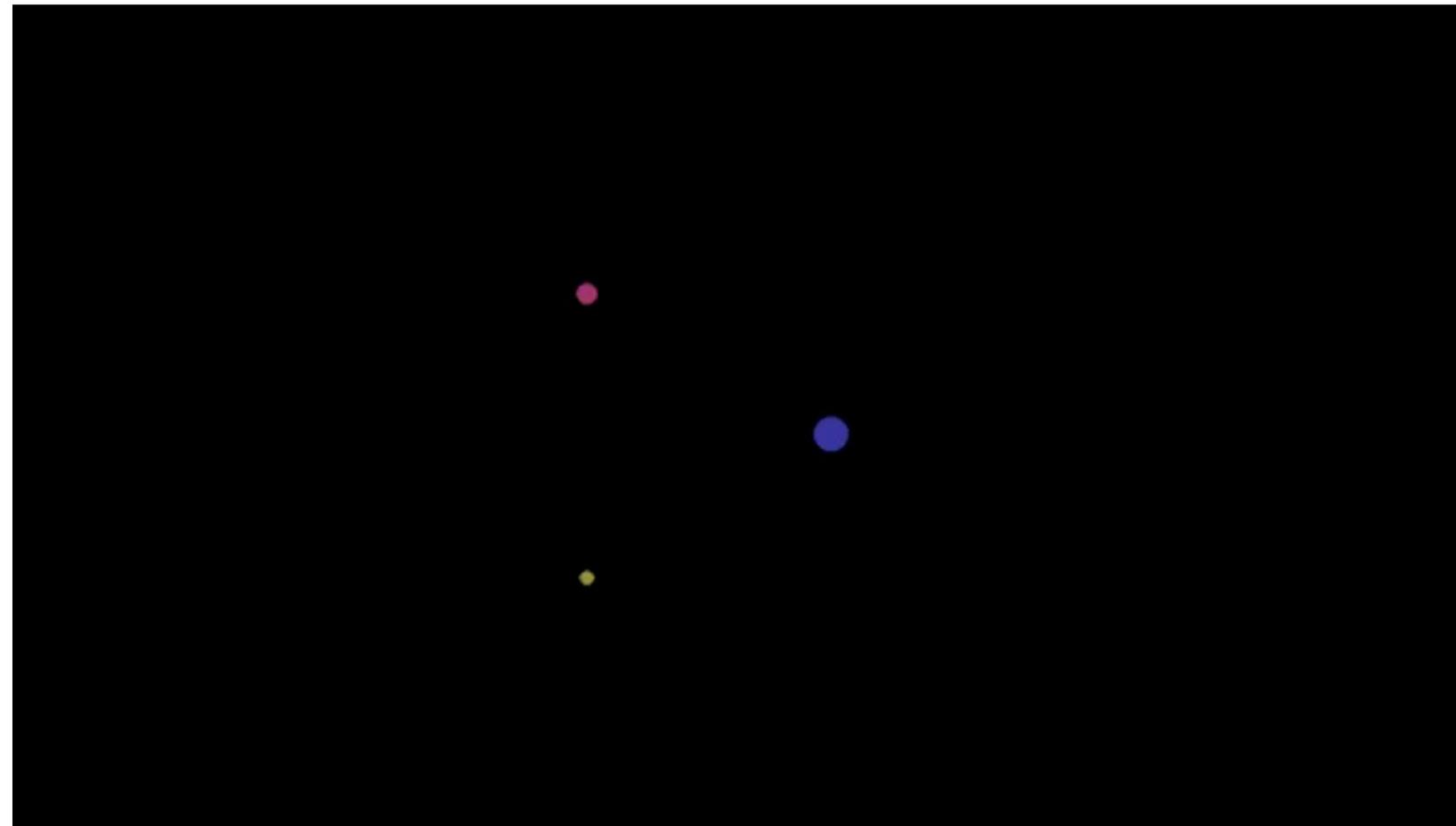
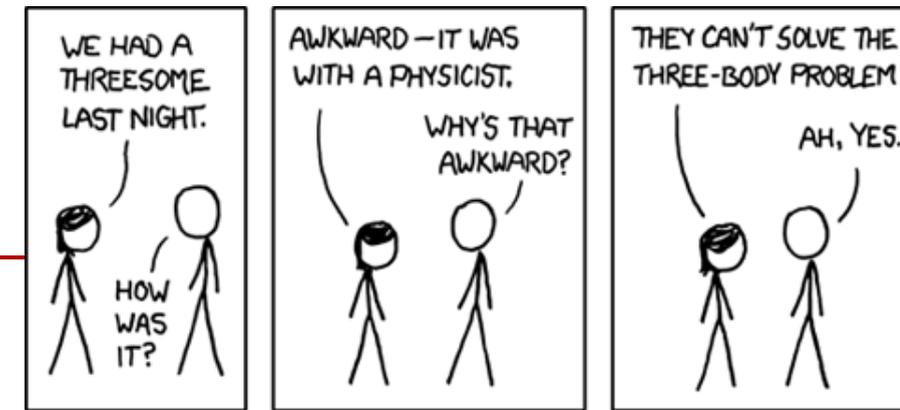
The diagram consists of seven musical staves, each representing a planet or a specific location. The notation uses diamond-shaped notes on a five-line staff. The planets are labeled as follows:

- Saturnus
- Jupiter
- Mars ferè
- Terra
- Venus
- Mercurius
- Hic locum habet etiam

Sonificação – primeiros passos

Frequency	Keyboard	Note name	MIDI number
4186.0		C8	108
3951.1		B7	107
3729.3		A7	106
3322.4		G7	105
2960.0		F7	104
2793.8		E7	103
2637.0		D7	102
2489.0		C7	101
2217.5		B6	99
1975.5		A6	98
1864.7		G6	97
1661.2		F6	96
1480.0		E6	95
1318.5		D6	94
1244.5		C6	93
1108.7		B5	92
1046.5		A5	91
987.77		G5	90
932.33		F5	89
830.61		E5	88
783.99		D5	87
739.99		C5	86
698.46		B4	85
659.26		A4	84
622.25		G4	83
587.33		F4	82
554.37		E4	81
493.88		D4	80
466.16		C4	79
440.0		B3	78
415.30		A3	77
392.00		G3	76
369.99		F3	75
349.23		E3	74
329.63		D3	73
311.13		C3	72
293.67		B2	71
277.18		A2	70
261.6		G2	69
246.94		F2	68
233.08		E2	67
220.00		D2	66
207.65		C2	65
196.00		B1	64
185.00		A1	63
174.61		G1	62
164.81		F1	61
155.56		E1	60
146.83		D1	59
138.59		C1	58
130.81		B0	57
123.47		A0	56
116.54		G0	55
110.00		F0	54
103.83		E0	53
97.999		D0	52
92.499		C0	51
87.307		B0	50
82.407		A0	49
77.782		G0	48
73.416		F0	47
69.296		E0	46
65.406		D0	45
61.735		C0	44
58.270		B0	43
55.000		A0	42
51.913		G0	41
48.999		F0	40
46.249		E0	39
43.654		D0	38
41.203		C0	37
38.891		B0	36
36.708		A0	35
34.648		G0	34
32.703		F0	33
30.868		E0	32
29.135		D0	31
27.500		C0	30
		B0	29
		A0	28
		G0	27
		F0	26
		E0	25
		D0	24
		C0	23
		B0	22
		A0	21

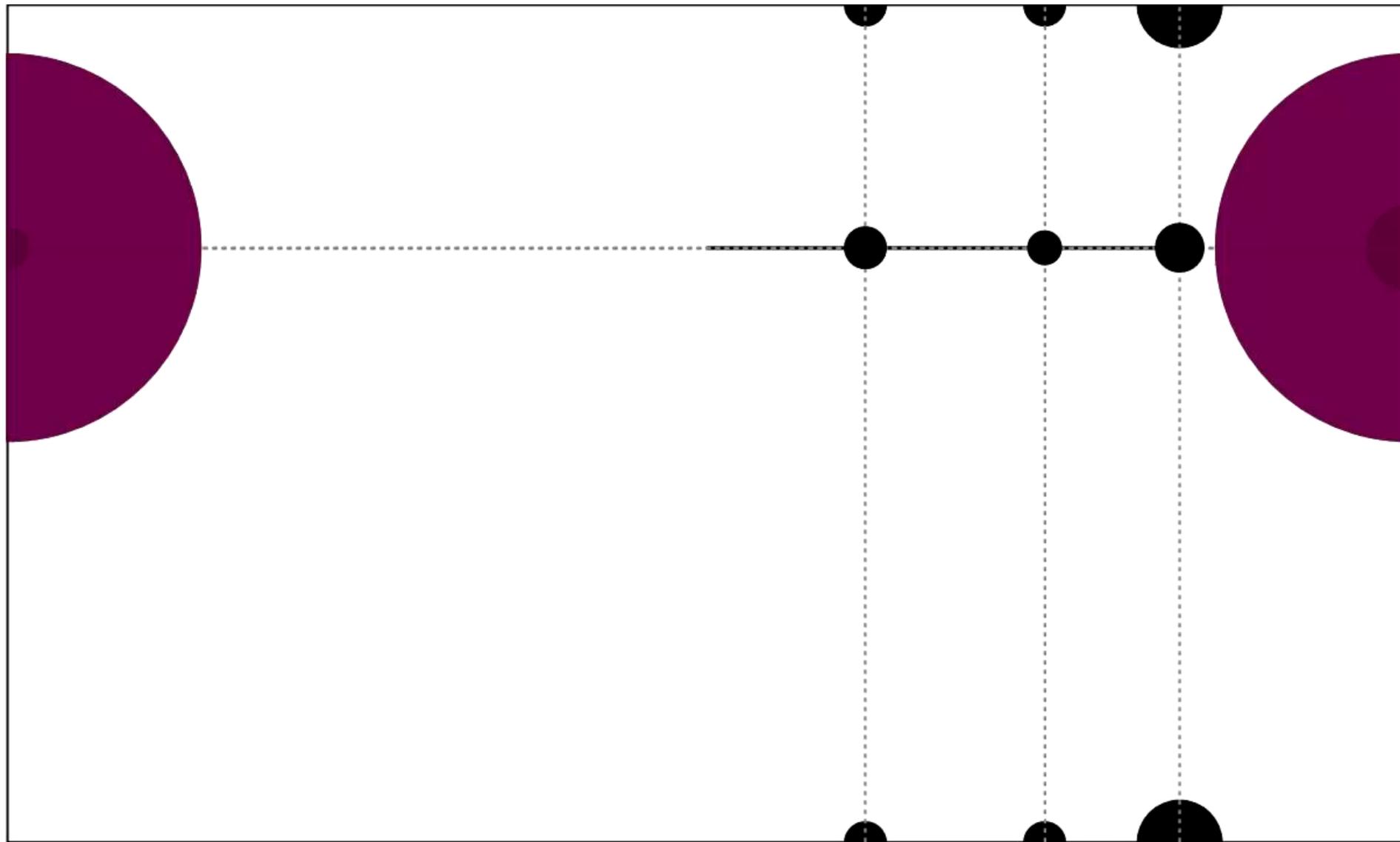
Aplicações em mecânica



O som é gerado quando a distância entre dois "planetas" atinge um mínimo local, uma nota da tríade C Maior (Dó, Mi, Sol) é atribuída a cada par.

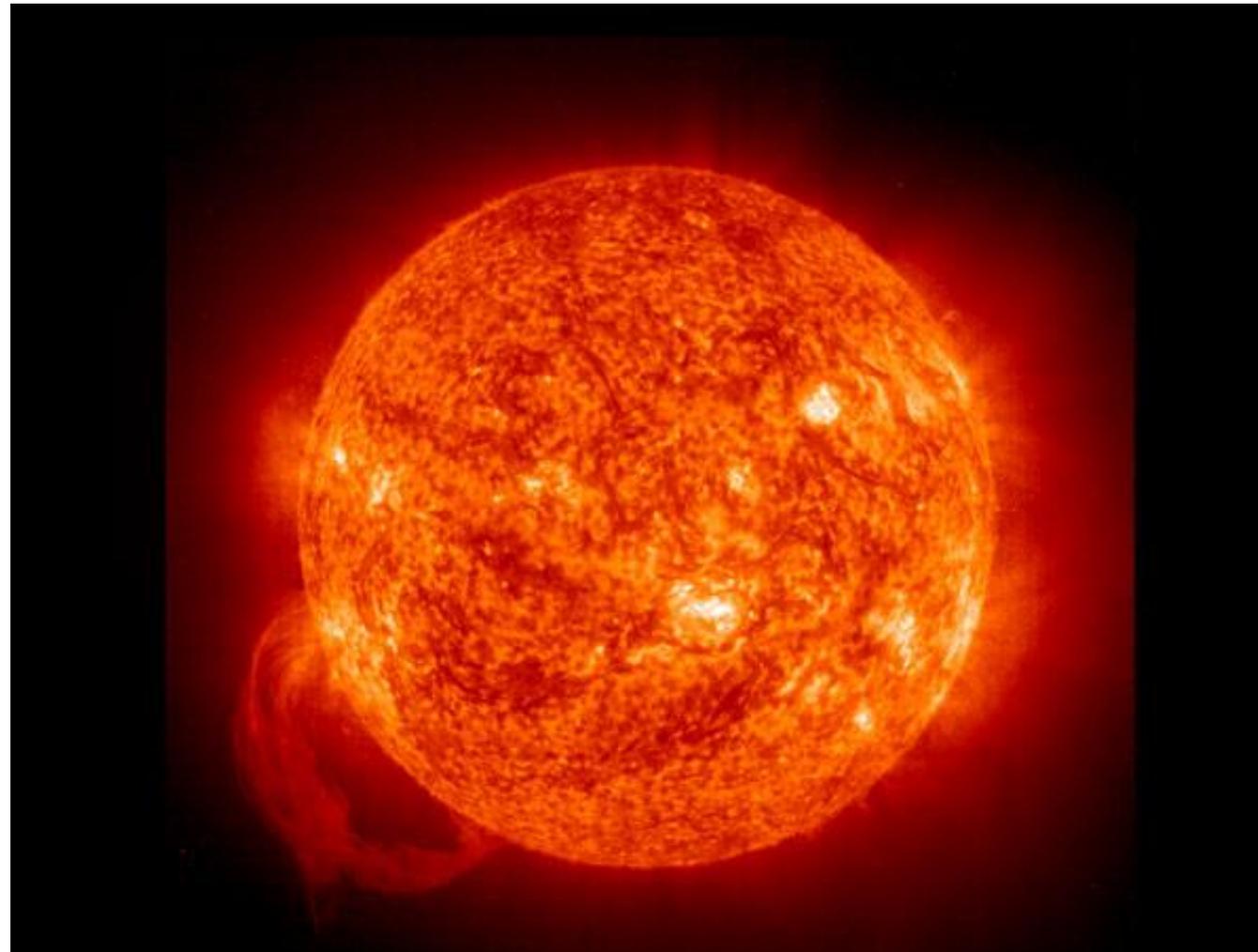
Aplicações em mecânica

Por NOSPOKO



Neste sistema caótico, as notas são geradas sempre que a coordenada X ou Y do terceiro pêndulo cruza com a mesma coordenada de quaisquer outros.

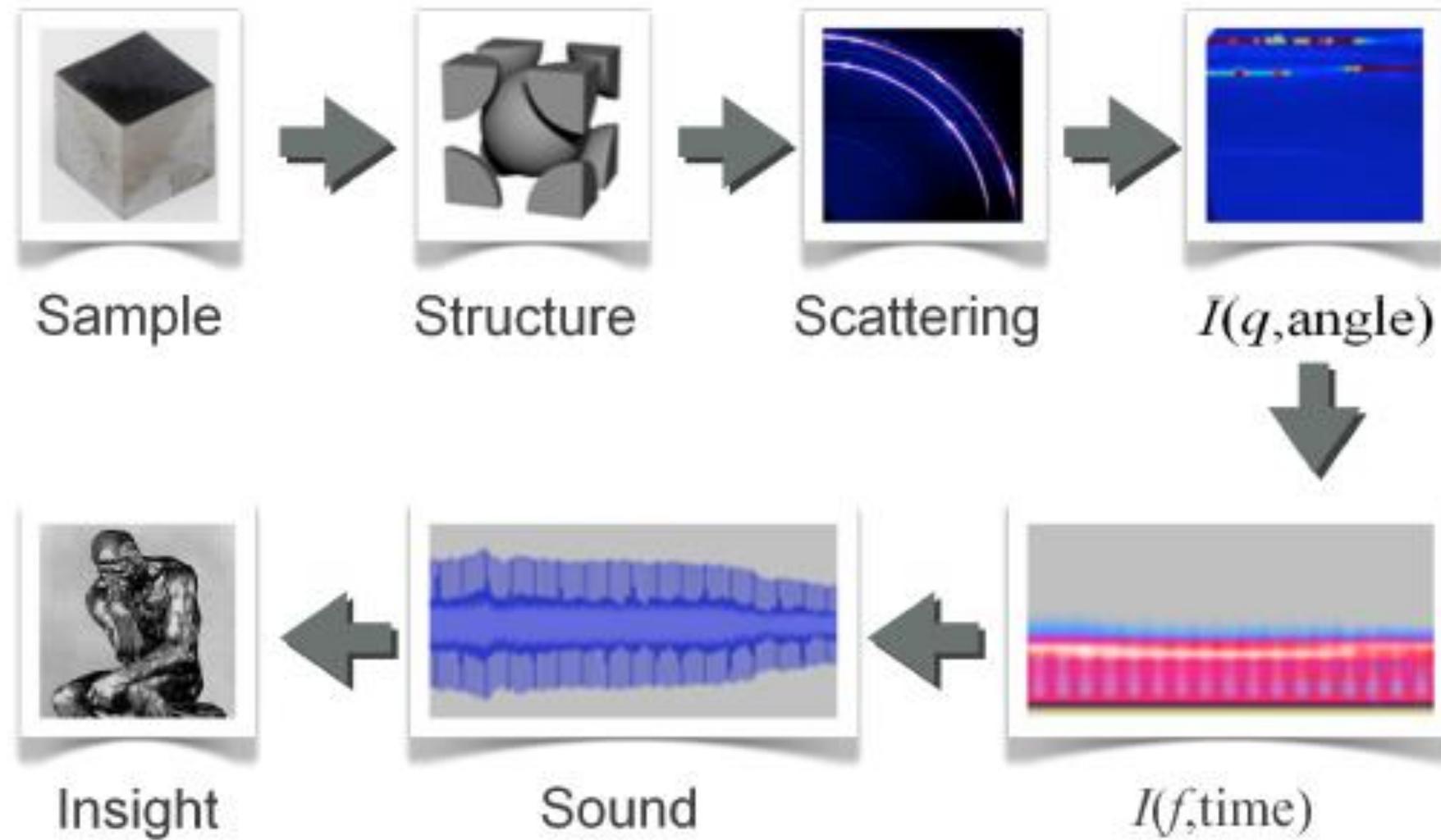
Aplicações em astronomia: sons do Sol



As alterações de luminosidade são traduzidas em som por modelos computacionais a partir de relações pré-estabelecidas.

Pelas distribuição de frequências levam a um entendimento da distribuição de densidade e temperatura na superfície do Sol.

Aplicações em nanociências



Aplicações em biofísica

Sonification of L13 protein folding data
Stephen Andrew Taylor,
March 2017

start
stop

Q / RMSD 0.70 SASA
adjust balance between glass sounds (orange & green) and rain sounds (purple)

Time (in frames) 0 350

Native contact (glass pitch): [text L13_native_contact_29s_half.dat](#)
the higher the pitch, the closer to its native (optimally folded) form

RMSD (Å)

RMSD (glass, filter & panning): [text L13_RMSD_29s_half.dat](#)
the louder and nearer to the center, the lower the RMSD (Root Mean Square Deviation)

SASA Contact Area (Å²)

SASA (rain sound): the less water, the lower the SASA (Solvent Accessible Surface Area); closer to native form [text L13_SASA_29s_half.dat](#)

protein folding animation made with VMD, courtesy of Martin Gruebele

double-click text boxes to see data

Projeto: sonificando o IFUSP



Obrigado !



Sumário – 25/04/2024

- SOM

Devolutiva:

- Como foi a aula hoje ? (Moodle)

<https://forms.gle/nJMtMw5Yh6yWs2DX7>

