

# *Relatório Final*

*F 809*

## *INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA*

**Projeto:** 23- Áudio-osciloscópio de chamadas - Sistema estacionário  
“VU de chamadas”



Aluno: Derik José Jorge Silva  
Orientador: Prof. Dr. Dirceu da Silva

## **Resumo**

Com este experimento buscamos trazer ao aluno do Ensino Médio uma maneira um pouco mais empírica de se estudar ondas estacionárias.

O equipamento que construí, contando com a ajuda de alguns amigos, é chamado de Áudio Osciloscópio de Chamas, onde, através de variações de pressão do gás contido no tubo principal, podemos “ver” as imagens do som, a sua onda, o seu harmônico.

Geralmente uma onda estacionária pode ser entendida como a superposição de duas ondas, uma viajando para a direita e outra viajando para a esquerda, como exemplificado na figura abaixo :



Geralmente quando uma onda encontra um obstáculo à sua propagação, ela pode ser transmitida ou refletida, por isso a possibilidade de formação de ondas estacionárias.

Nesta demonstração será possível verificar tanto as ondas estacionárias, geradas num software de geração de sinais, quanto uma mistura de ondas, que nos dá figuras quaisquer, originadas por músicas clássica, onde quase não há som de voz e sim de instrumentos musicais.

## **Som**

O ouvido íntegro pode ser sensibilizado por uma onda mecânica que se propaga num campo ondulatório (meio material), como o ar, desde que essa onda apresente intensidade suficiente e sua frequência encontre-se dentro de um certo intervalo subjetivo. À estas sensibilizações denominamos por sensações sonoras. Em geral, ao estudo da produção (fontes sonoras), propagação e fenômenos correlatos sofridos pela onda mecânica sonora ou audível, denomina-se Acústica e, em particular, denominamos por som à toda onda mecânica nas condições acima especificadas (intensidade suficiente e frequência limitada num certo intervalo). Se a frequência da onda sonora pertence ao intervalo subjetivo (depende do observador), 16Hz ----- 20000 Hz, esse som é audível para o ser humano.

## **Ultra-som e Infra-som**

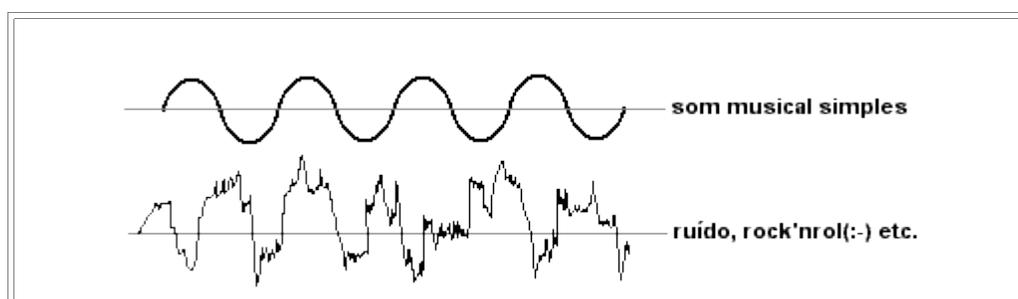
Ondas longitudinais de frequências superiores a 20 kHz, caracterizam sons inaudíveis e denominam-se ultra-sons; e aquelas de frequências inferiores a 16 Hz, também inaudíveis, são ditas infra-sons.

## Escala das Ondas Mecânicas

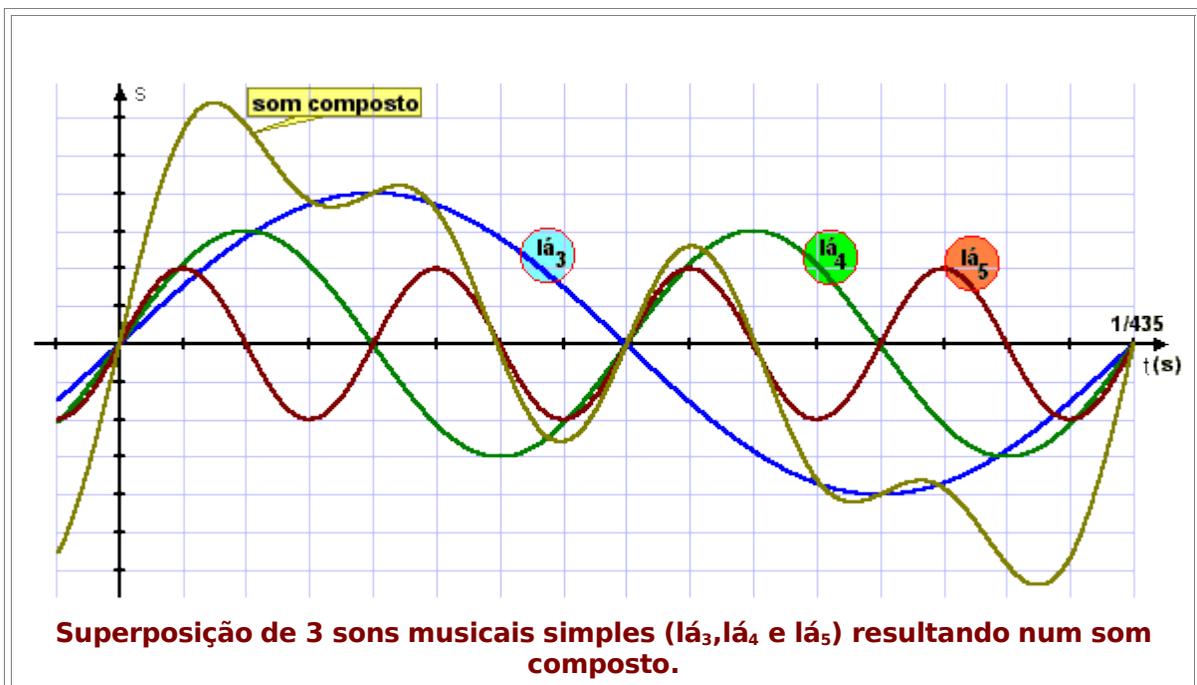
<b>Frequência Hz</b>	<b>Denominação</b>	<b>Método de excitação</b>	<b>Aplicação</b>
0,5 ---- 20	Infra-sons	Vibração da água em grandes reservatórios, batidas do coração.	Prognóstico do tempo, diagnóstico de doenças do coração.
20 ---- 2.10 <sup>4</sup>	Sons Audíveis	Voz humana e dos animais, instrumentos musicais, apitos, sireias, alto-falantes ...	Para comunicação e sinalização, assim como para a medição de distâncias.
2.10 <sup>4</sup> ---- 10 <sup>10</sup>	Ultra-sons	Emissores magnetostriictivos e piezoelétricos, apitos de Galton, também são excitados por alguns animais e insetos (morcegos, grilos, gafanhotos etc.)	Deteção submarina por eco, limpeza e deteção de defeitos em peças e estruturas de construções, aceleração de reações químicas, investigação em medicina, biologia e física molecular.
10 <sup>11</sup> ....	Hipersons	Vibrações térmicas das moléculas	Em investigações científicas.

## Sons Musicais e Ruídos

Quanto ao efeito sobre o ouvido, os sons são classificados em sons musicais e ruídos. Subjetivamente esta classificação deixa muito a desejar, pois há quem (muito propriamente) considere o rock'n rol um ruído e outros (mais desprovidos de sensibilidade) um som musical.



Fisicamente, entende-se por som musical ao resultado da superposição de ondas sonoras periódicas ou aproximadamente periódicas; ruídos correspondem a ondas sonoras não-periódicas e breves, que mudam imprevisivelmente de características. O som musical pode ser simples, quando corresponde a uma única onda harmônica e composto quando compõe-se de duas ou mais ondas harmônicas.



## Fontes Sonoras

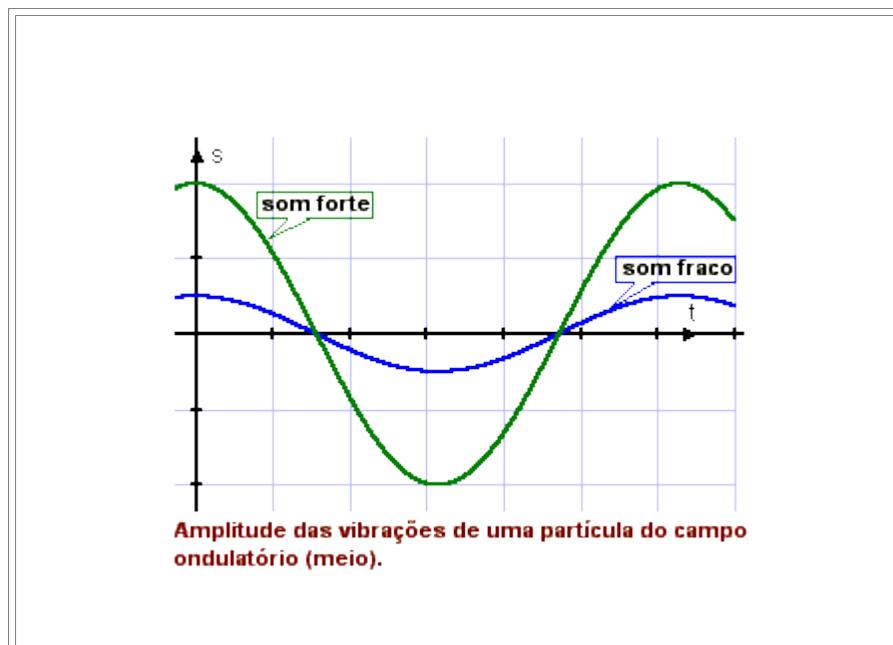
É todo e qualquer dispositivo capaz de produzir ondas sonoras num meio material elástico (campo ondulatório); citamos alguns de destaque em Acústica:

- cordas vibrantes:** violão — violino — piano — cordas vocais, etc.
- tubos sonoros:** órgão - flauta — clarineta — oboé, etc.
- membranas e placas vibrantes:** tambor — címbalos, etc.
- hastes vibrantes:** diapasão: “triângulo”, etc.

## Qualidades Fisiológicas do Som

Os sons simples distinguem-se uns dos outros por duas características, a saber, INTENSIDADE e ALTURA; os sons compostos, além daquelas, diferenciam-se pelo TIMBRE.

A intensidade fisiológica do som está ligada à amplitude das vibrações (e, portanto à energia transportada pela onda sonora); é a qualidade pela qual um som forte (grande amplitude — muita energia) se distingue de um som fraco (pequena amplitude — pouca energia).



Apesar de variarem num mesmo sentido, é preciso não confundir intensidade fisiológica (ou intensidade auditiva ou ainda nível sonoro) com a intensidade física (ou intensidade sonora, quando se trata de onda sonora) da onda que é uma grandeza física associada ao fenômeno vibratório. Vamos detalhar isso um pouco mais.

Vale lembrar que, durante a propagação das ondas tem lugar um transporte de energia, no entanto, as partículas do meio não se deslocam no sentido da propagação das ondas, limitando-se a realizar movimentos oscilatórios nas proximidades da posição de equilíbrio (quando a amplitude das ondas é pequena e o meio em que se propagam não é viscoso). A grandeza que é numericamente igual à energia média transportada pela onda, por unidade de tempo, através de uma unidade de área da superfície da onda é denominada intensidade física da onda. Essa intensidade é medida em  $\text{W/m}^2$ . A intensidade das ondas acústicas é denominada intensidade física do som ou, simplesmente, intensidade sonora.

Durante a propagação das ondas mecânicas, a velocidade e a aceleração das partículas do meio variam de acordo com a mesma lei do deslocamento (espaço, alongação), ou seja, uma lei harmônica. Quando a 'amplitude' do deslocamento (alongação máxima) das partículas durante a propagação de uma onda harmônica plana de pulsação  $\omega$  apresenta o valor  $a$ ,

a 'amplitude' máxima da velocidade da oscilação terá o valor  $v_{\text{máx.}} = \omega a$

a 'amplitude' máxima da aceleração da oscilação terá o valor  $a_{\text{máx.}} = \omega^2 a$

e a intensidade física da onda será dada por  $I = (1/2) \cdot V \cdot \rho \omega^2 a^2$

onde  $\rho$  é a massa específica do meio onde a onda se propaga,  $V$  é a velocidade de propagação.

Como  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  e, uma vez que  $\rho$  e  $V$  são características do meio elástico, supondo-o homogêneo e à temperatura constante podemos escrever:

$$I = k \cdot f^2 \cdot a^2$$

--- para uma dada frequência, a intensidade física é diretamente proporcional ao quadrado da amplitude;

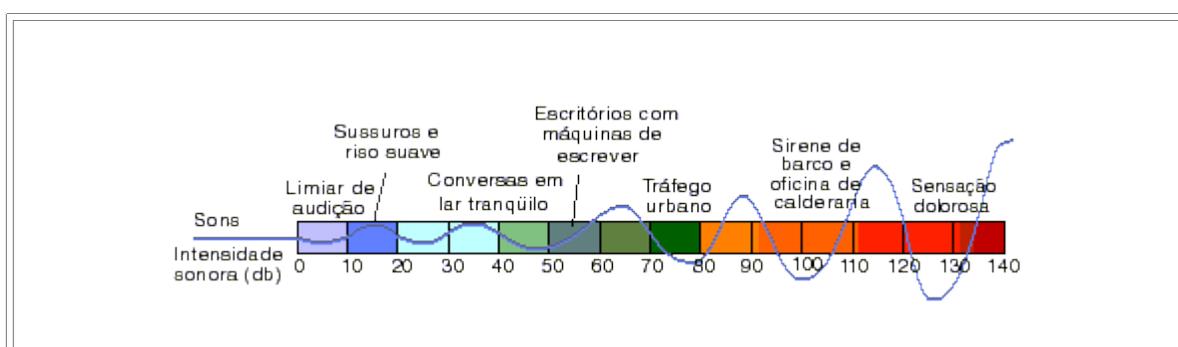
--- para uma dada amplitude, a intensidade física é diretamente proporcional ao quadrado da frequência (e isso explica claramente a alta energia transportada por um ultra-som).

O nível de variação da intensidade fisiológica ( $\Delta S$ ) cuja unidade é o bell (b) e a intensidade física ( $I$ ) cuja unidade é o  $W/m^2$  relacionam-se mediante uma lei experimental ou lei de Weber-Fechner: “A variação da intensidade fisiológica ( $\Delta S$ ), na zona central do campo de audibilidade é proporcional à variação dos logaritmos das intensidades físicas correspondentes”.

Assim, seja  $S_0$  uma intensidade fisiológica de referência e  $I_0$  a correspondente intensidade física. Se  $S$  é outra intensidade fisiológica qualquer e  $I$  a intensidade física correspondente, a lei de Weber-Fechner permite escrever:

adotando-se  $S_0 \implies I_0$  e tomando-se  $S \implies I$  vem  $S - S_0 = \log(I/I_0)$ , em bell (b).

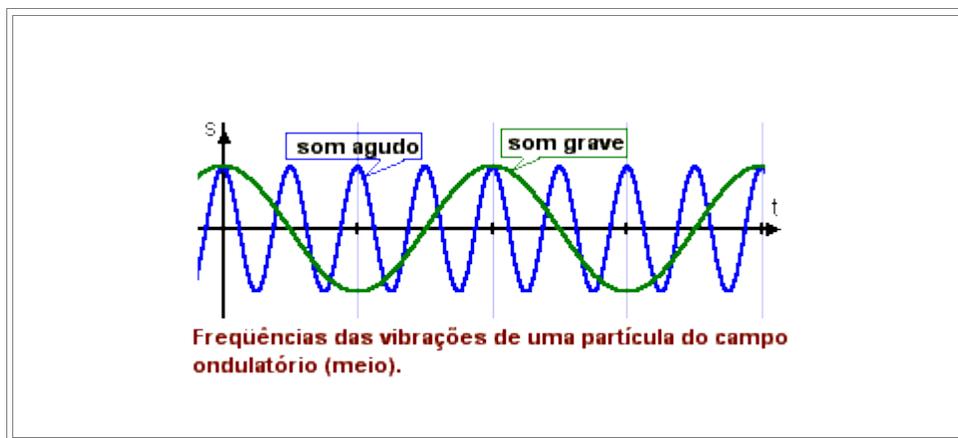
Por convenção internacional, definiu-se  $S_0 = 0$ , para  $I_0 = 10^{-12} W/m^2$  como sendo a intensidade auditiva de referência, relativa a um som simples de frequência 1000 Hz. Essa intensidade corresponde ao limiar de audição.



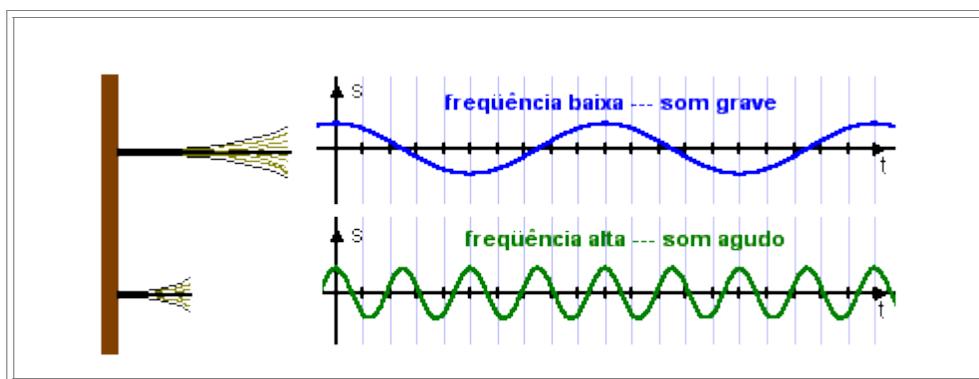
A intensidade do som captada pelo ouvido corresponde à sensação do que se denomina popularmente de volume do som. Quando o som tem uma determinada intensidade mínima, o ouvido humano não capta o som. Essa intensidade mínima é denominada nível mínimo de audição, ou como colocamos acima, limiar de audição e esse mínimo difere segundo a frequência dos sons. Quando a intensidade é elevada, o som provoca uma sensação dolorosa. A intensidade mínima a que um som ainda provoca sensação dolorosa tem o nome de limiar da sensação dolorosa.

A intensidade auditiva também pode ser referida em fons e, para tanto, basta que se fixe as seguintes referências: frequência de 1000 Hz; intensidade física de  $10^{-12} W/m^2 \implies S_0 = 0 \text{ fon}$

A altura do som está ligada unicamente à sua frequência; é a qualidade pela qual um som grave (som baixo --- frequência baixa) se distingue de um som agudo (som alto --- frequência alta).



É fácil perceber que essa característica do som depende tão somente da frequência; sabe-se, por exemplo, que encurtando-se uma lamina elástica (gilete presa no bordo da mesa), aumenta-se a frequência de suas vibrações e, correlativamente, constata-se que o som emitido se torna mais e mais agudo.



O quociente das frequências de dois sons, define um intervalo sonoro ( $i$ ), em particular, se  $i = 2$ , ou seja,  $f_2/f_1 = 2$ , teremos um intervalo de uma oitava — a frequência do som mais agudo é o dobro da frequência do outro.

A definição dos diversos intervalos musicais levam ao estabelecimento de uma ESCALA MUSICAL. Em música, usam-se apenas determinados sons, de frequências convencionais e que se denominam notas musicais. Denomina-se gama ao conjunto das notas musicais pertencentes ao intervalo de uma oitava.

O timbre depende dos harmônicos associados ao som fundamental no caso dos sons musicais ou das ondas que se superpõem, no caso dos sons compostos em geral. No caso dos sons musicais, é a qualidade que permite distinguir dois sons de mesma altura emitidos por fontes sonoras diferentes; uma flauta e um violino, por exemplo, ambos emitindo, digamos, o  $dó_3$ .

É o número (quantidade) e as intensidades dos harmônicos (que sempre existem ao se tocar um instrumento musical) que acompanham o som fundamental que dão ao som musical essa característica (enfeite) particular.

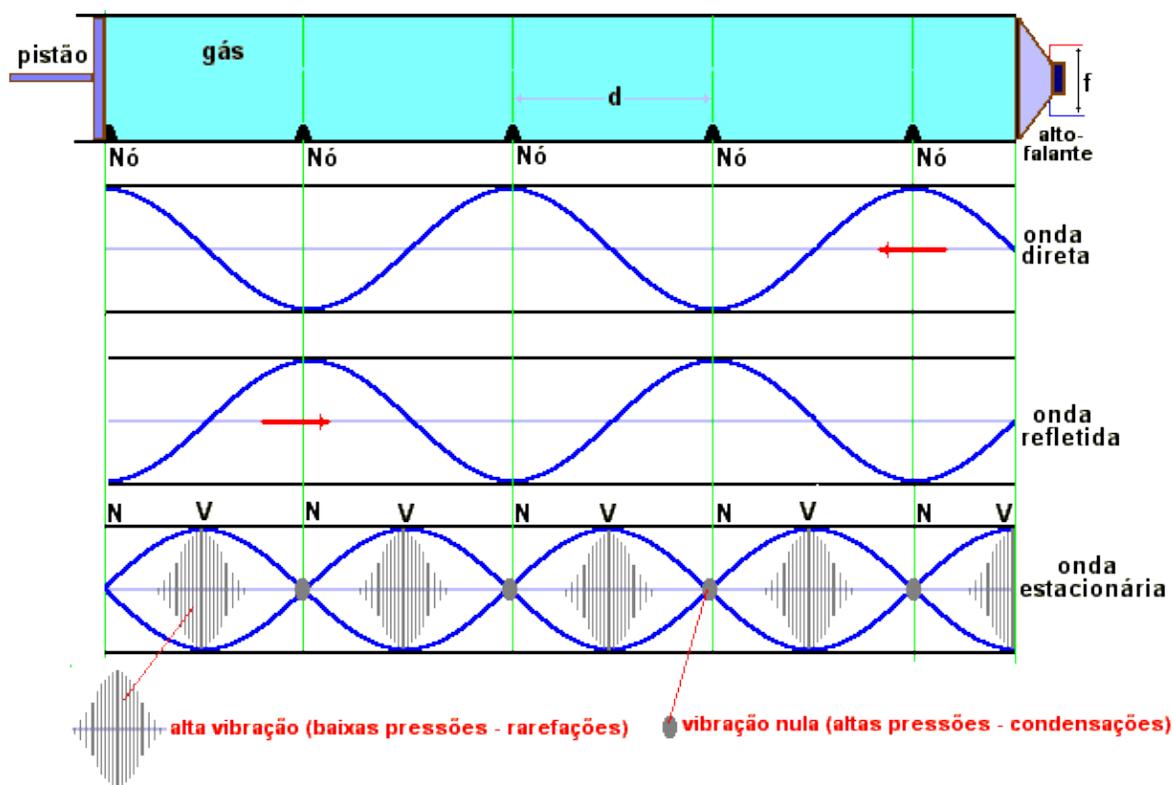
### **Fenômenos compatíveis com a propagação da onda sonora**

Na propagação do som observam-se os fenômenos gerais da propagação ondulatória. Dada sua natureza longitudinal, o som não pode ser polarizado; sofre, entretanto, os demais fenômenos, a saber: difração, reflexão, refração, interferência e efeito Doppler.

A difração depende do comprimento de onda; é a propriedade que a onda apresenta em contornar (devido ao modelo de fontes secundárias, posto na teoria da ondulatória, no princípio de Huyghens) os obstáculos que encontra durante sua propagação. Como o comprimento de onda ( $\lambda$ ) das ondas sonoras é bastante grande (enorme, em relação ao comprimento de onda da luz), a difração sonora é intensa.

A reflexão do som obedece às leis da reflexão ondulatória nos meios materiais elásticos e suas conseqüências. Convém frisar que a reflexão do som ocorre bem em superfícies cuja extensão seja grande em comparação com o comprimento de onda.

Ainda derivado do fenômeno da reflexão do som, temos a considerar a formação de ondas estacionárias nos campos ondulatórios limitados, como é o caso de colunas gasosas aprisionadas em tubos. No nosso caso, o pistão foi substituído por uma vedação de cobre.



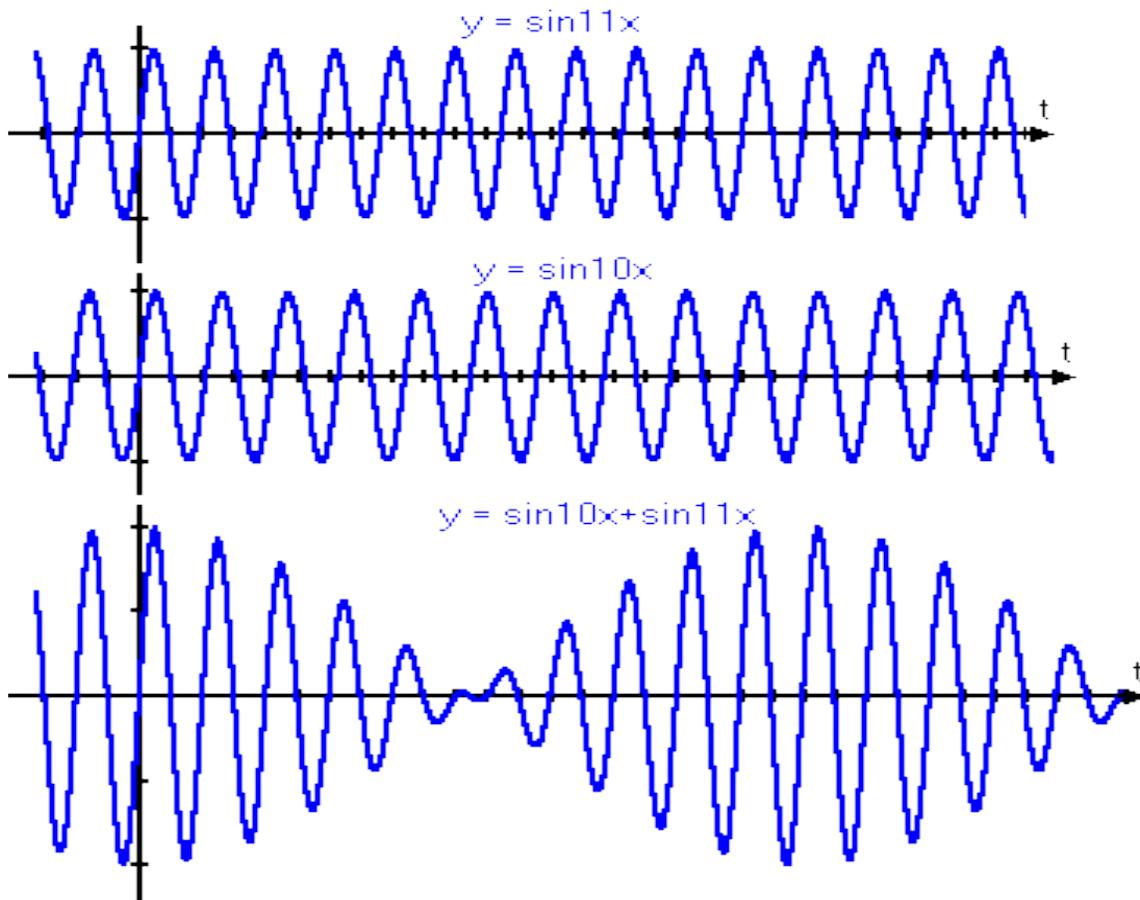
A distância ( $d$ ) entre dois nós consecutivos é de meio comprimento de onda ( $d = \lambda/2$ ). Sendo  $V_{\text{gás}} = \lambda f$  tem-se:  $V_{\text{gás}} = 2.f.d$ . Que resulta num processo que permite calcular a velocidade de propagação do som em um gás qualquer! A frequência  $f$  é fornecida pelo oscilador de áudio-frequência que alimenta o auto-falante.

A refração do som obedece às leis da refração ondulatória, fenômeno que caracteriza o desvio sofrido pela frente de onda, que geralmente ocorre, quando ela passa de um campo ondulatório (por exemplo, ar) a outro de elasticidade (ou compressibilidade, para as ondas longitudinais) diferente (por exemplo, água).

Convém frisar que ao passar de um campo (meio) para outro (do ar para a água, no exemplo), a característica do som que se mantém é a sua altura (frequência); assim, tanto o comprimento de onda ( $\lambda$  como sua velocidade de propagação ( $V$ ) são diferentes em cada campo ondulatório.

$$f = V_1/\lambda_1 = V_2/\lambda_2 = V_3/\lambda_3 \dots$$

A interferência é a consequência da superposição de ondas sonoras. Dois sons de alturas iguais (frequências iguais) se reforçam ou se extinguem permanentemente conforme se superponham em concordância ou em oposição de fase. Se suas frequências não forem rigorosamente iguais, ora eles se superpõem em concordância de fase, ora em oposição de fase, ocorrendo isso a intervalos de tempo iguais, isto é, periodicamente se reforçam e se extinguem. É o fenômeno de batimento.



O efeito Doppler é a consequência do movimento relativo entre o observador e a fonte sonora, o que determina uma modificação aparente na altura do som recebido pelo observador.

### **As equações de uma onda estacionária**

Consideremos a superposição de duas ondas, uma caminhando para a direita e a outra se deslocando para a esquerda, de mesma frequência e amplitude.

$$Y_1 = Y_0 \text{sen}(kx - \omega t) \rightarrow \text{movendo-se para a direita.}$$

$$Y_2 = Y_0 \text{sen}(kx + \omega t) \rightarrow \text{movendo-se para a esquerda.}$$

A onda resultante da superposição destas duas ondas é aquela dada por :

$$Y = Y_0 [\text{sen}(kx - \omega t) + \text{sen}(kx + \omega t)]$$

Usando a expressão trigonométrica para a soma de dois senos, obtemos que :

$$Y = 2Y_0 \cos(\omega t) \sin(kx)$$

Pelo resultado verifica-se que a amplitude da onda resultante será dada por  $2Y_0 \cos(\omega t)$ . Da mesma maneira observa-se que a amplitude da onda resultante será nula nos pontos em que tivermos a equação

$$\sin(kx) = 0.$$

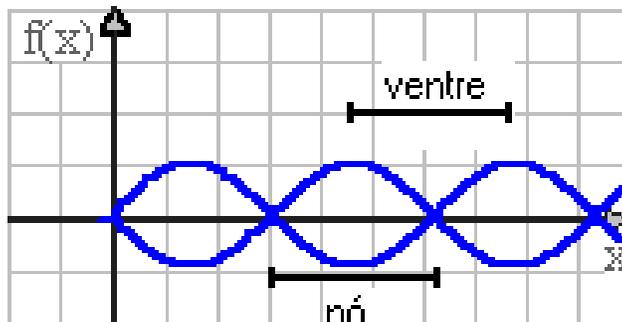
Por isso, planos nodais da onda estacionária ficam definidas pela relação :

$$x = n\lambda / 2.$$

A equação da onda resultante podendo ser re-escrita como :

$$Y = 2Y_0 \cos(\omega t) \sin(kn\lambda / 2)$$

Podemos visualizar a forma da onda estacionária na figura abaixo, onde se distingue os "ventres" e os "nós", correspondentes a uma distância de  $\lambda / 2$ .



### Ondas em sistemas com extremidades fixa

Consideremos uma corda de comprimento  $L$ , em nosso caso um tubo, com suas extremidades fixas em  $x=0$  e  $x=L$ , na qual esteja formada uma onda estacionária. Claramente, as extremidades fixas são correspondentes a nós da onda estacionária, que se dão quando :

$$x = n\lambda / 2 \Rightarrow L = n\lambda / 2$$

Então em uma corda de extremidades fixas, para uma onda estacionária, teremos que :

$$\lambda = 2L/n$$

define o comprimento de onda da onda estacionária.

Definindo a frequência  $f$  da onda estacionária como sendo o inverso do período da onda, temos que sua velocidade será dada por :

$$V = \lambda f \Rightarrow f = vn/2L$$

Como  $n$  é um número inteiro percorrendo os naturais, temos as frequências fundamental e sobretons dados por :

$$f_1 = v/2L \rightarrow \text{fundamental ou primeiro harmônico};$$

$$f_2 = v/L \rightarrow \text{segundo harmônico};$$

$$f_3 = 3v/2L \rightarrow \text{terceiro harmônico ...}$$

Levando-se em conta a relação entre a frequência, velocidade e força externa exercida sobre o sistema pelo qual propagam as ondas geradoras da onda estacionária, temos que :

$$f = nv/2L$$

e

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

e finalmente obtemos a relação entre frequência e força externa sobre o sistema :

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

onde para  $n = 1$ , teremos a frequência fundamental ou primeiro harmônico. As várias frequências são também chamadas de frequências de ressonância.

A expressão indica uma clara dependência da frequência com a força externa atuante, além da dependência com a densidade do sistema. Por exemplo, em instrumentos musicais, a corda do instrumento fica sob tensão  $F$ , e a variação do comprimento  $L$ , ajusta as notas musicais.

## **Procedimento para o funcionamento do equipamento**

- 1) Verificar/certificar se todas as válvulas estão fechadas e o alto-falante desligado.
- 2) Abrir a válvula do botijão de gás.
- 3) Abrir a válvula próxima ao tubo principal.
- 4) Acender a chama e regular a pressão de modo que a chama fique em torno de 3 a 5cm do tubo.
- 5) Ligar o alto-falante.
- 6) Ajustar o equipamento de geração de sinal ou de som.
- 7) Evitar realizar o experimento em local com vento.
- 8) Evitar ficar próximo ao experimento, pois o calor liberado é grande.
- 9) Para fechar o gás, fechar primeiro o registro do tubo principal, depois o do botijão.
- 10) Por último desligar o alto-falante e o gerador de som.

## **Problemas que ocorreram durante a construção e testes preliminares**

- 1) Furação do tubo com broca de 0,3mm e 0,5mm.
- 2) Ajustes do alto-falante e do suporte do mesmo.
- 3) Os suportes iniciais ficaram baixo, o que obrigou a confecção de novos.
- 4) Uma pequena explosão nos testes iniciais, causando a perda do suporte do alto-falante e do próprio alto-falante, danificação do tubo, levando a instalação da segunda válvula próxima ao tubo.
- 5) Aquisição do botijão de gás de 2Kg, já que o mesmo não apresenta válvula de segurança como o botijão residencial de 13Kg. Porém, o botijão de 13 Kg apresenta uma pressão de operação menor, o que pode ter causado a explosão, já que foi utilizado nos testes iniciais.
- 6) Aquisição de mangueiras especiais para suportar uma pressão maior do gás.
- 7) Definição da membrana de separação do gás do tubo com o alto-falante e a sua montagem e substituição.
- 8) Fixação do alto-falante no conjunto do tubo.
- 9) Com a utilização, a pressão do gás diminui, devendo ser reajustada.

## **Fotos do equipamento utilizado**



**COMPUTADOR PARA GERENCIAR FREQUÊNCIA E SOM**



**SOFTWARE UTILIZADO PARA GERENCIAR FREQUÊNCIA E SOM**



**FOTO MONTAGEM EXPERIMENTO**



**DETALHE DO EQUIPAMENTO**



**DETALHE DO ALTO-FALANTE E SUA FIXAÇÃO**



**FOTO DO EQUIPAMENTO EM TESTE (AMBIENTE FECHADO)**



**FOTO DO EQUIPAMENTO EM TESTE (AMBIENTE FECHADO)**

**Fotos do equipamento durante a apresentação na UNICAMP**



**NOTA-SE UMA PEQUENA FORMAÇÃO DE ONDAS**



**PERTURBAÇÃO PROVOCADA POR SINAIS DE 60Hz**



**PERTURBAÇÕES PROVOCADAS POR SINAIS DE 120Hz**



**PRESENÇA DE VENTOS ATRAPALHANDO AS CHAMAS**



**ONDAS PERCEBIDAS DURANTE A EXECUÇÃO DE “CARMINA BURANA”**



**AS ONDAS A DIREITA DO CENTRO DO TUBO APRESENTAM MELHOR DEFINIÇÃO**



**AO FINAL DA APRESENTAÇÃO, A BAIXA PRESSÃO DO GÁS INTERFERINDO NAS CHAMAS**

### **Referências Bibliográficas**

[http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10\\_18.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_18.asp)

<http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/Acústica1.asp>

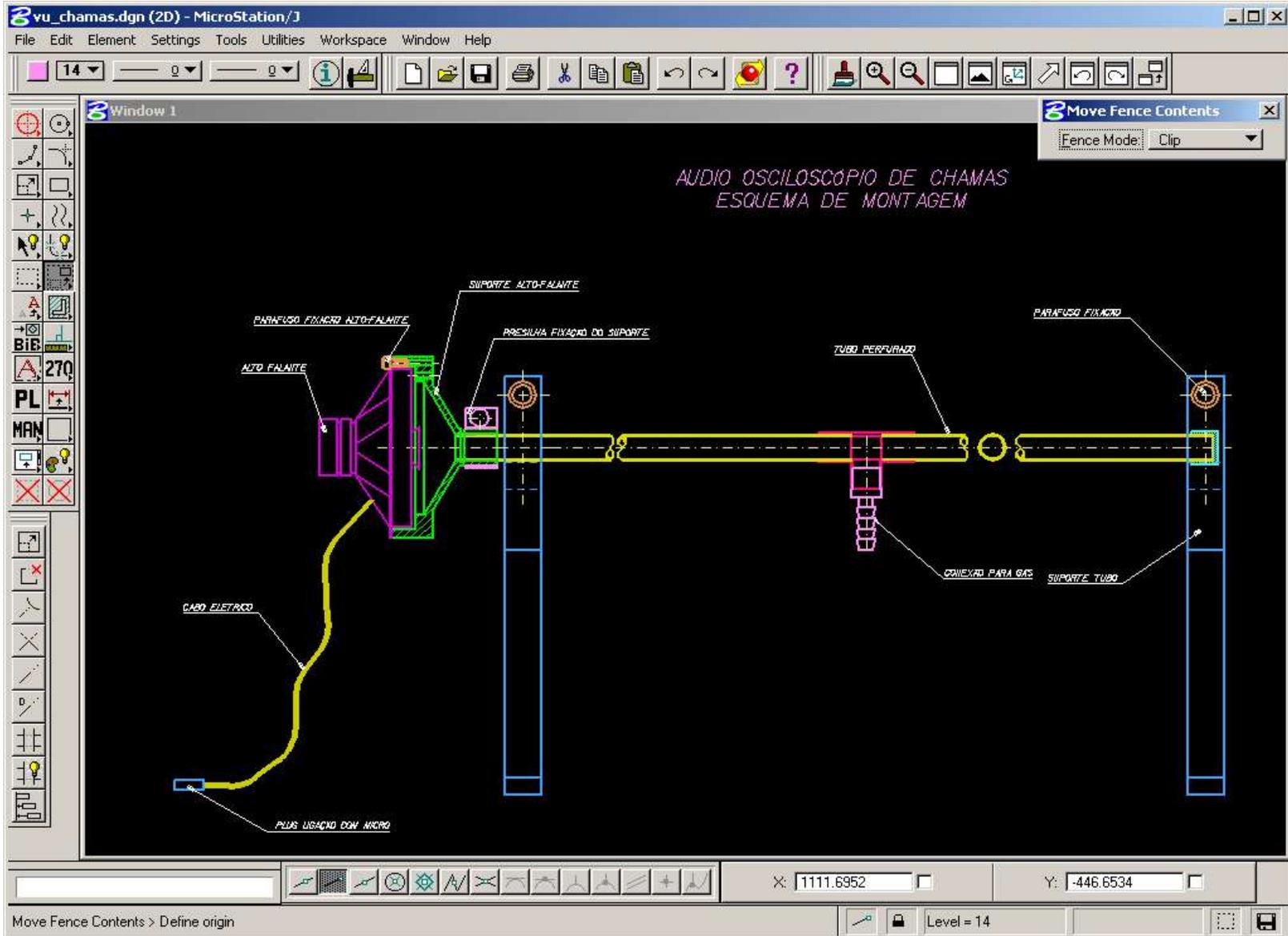
<http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/Acústica2.asp>

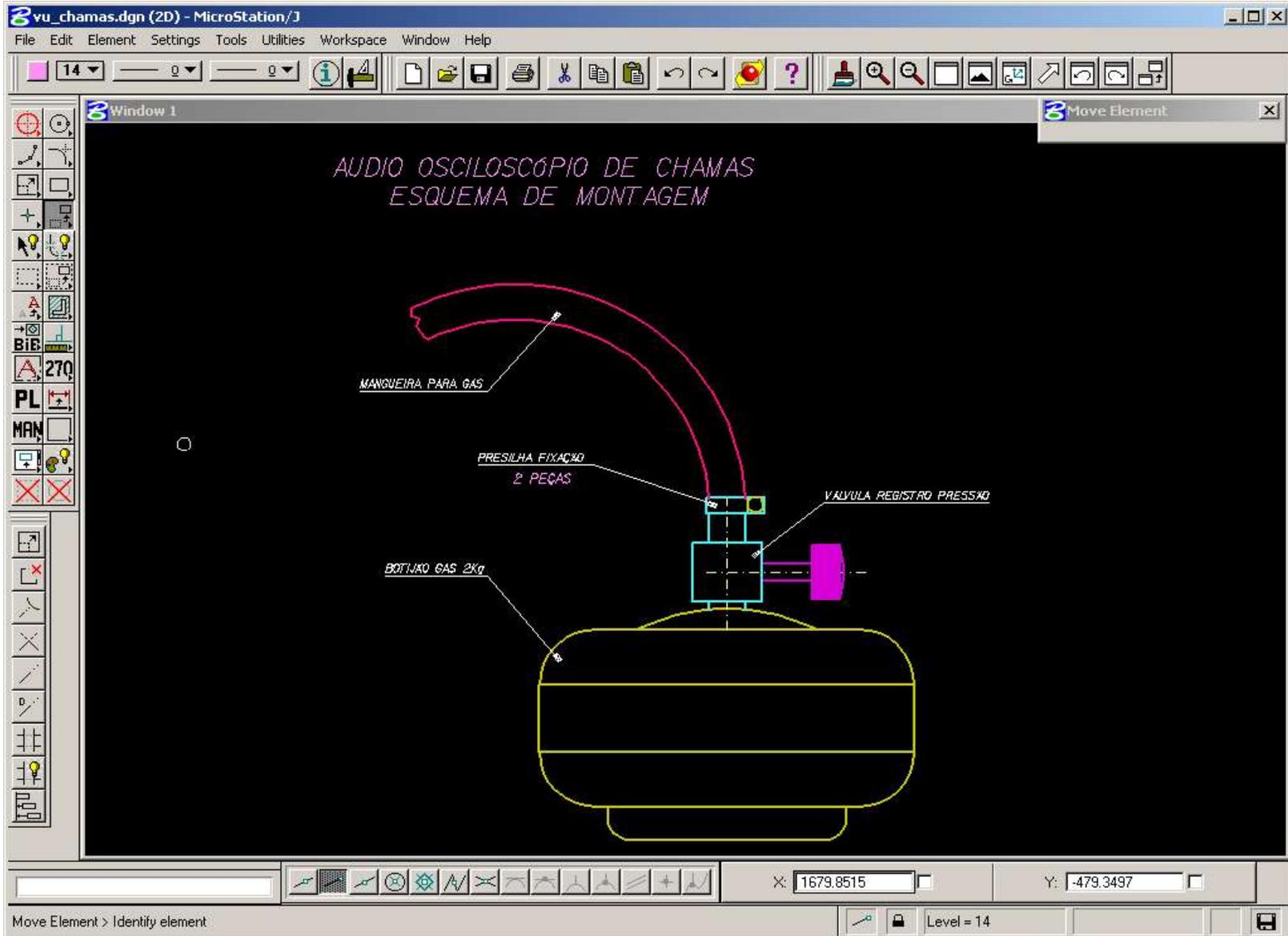
[http://www.fisicaonline.com.br/fenômenos\\_oscilatórios\\_ondulatórios.html](http://www.fisicaonline.com.br/fenômenos_oscilatórios_ondulatórios.html)

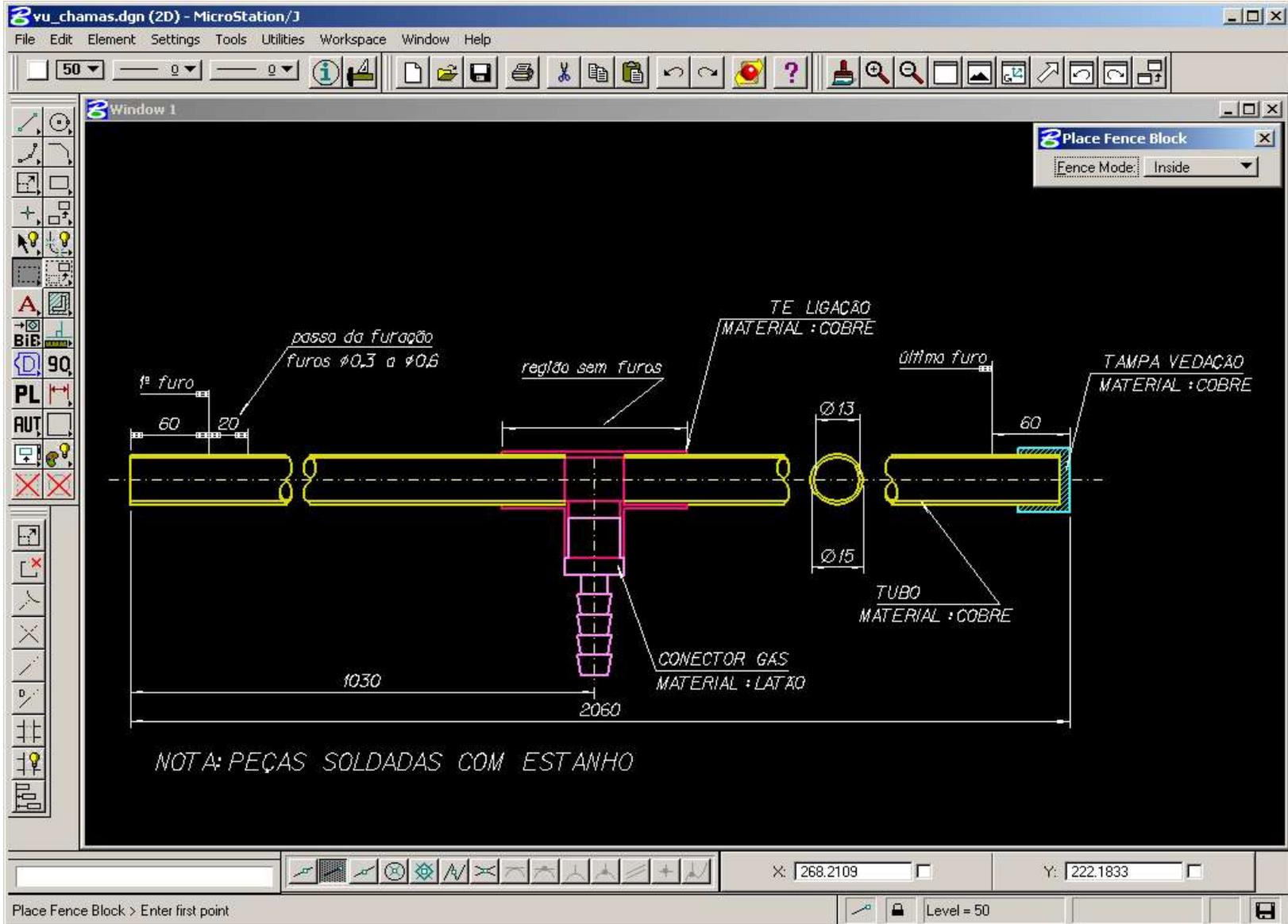
Resnik e Halliday – Fundamentos da Física Vol. 2

Ramalho, Ivan, Nicolau, Toledo – Fundamentos da Física Vol. 2

**Projeto do AUDIO-OSCILOSCÓPIO DE CHAMAS - ANEXO 1**







vu\_chamas.dgn (2D) - MicroStation/J

File Edit Element Settings Tools Utilities Workspace Window Help

50

Window 1

Extend Line

### SUPORE DO ALTO-FALANTE

The drawing consists of two views: a side view on the left and a top view on the right. The side view shows a vertical cylindrical base with a diameter of  $\phi 104$  and a total height of 59. The base has a diameter of  $\phi 93,5$  and a height of 13. A central hole has a diameter of  $\phi 71$ . A horizontal section of width 18 and height 2 is attached to the top of the base. A diagonal section with a thickness of 2 and a height of 18 connects the horizontal section to a top flange. The top flange has an outer diameter of  $\phi 154$  and an inner diameter of  $\phi 21$ . A chamfered edge with a radius of  $R120$  is shown. The top view shows a circular base with a diameter of 34,25. It features a central hole with a diameter of 2 and four holes arranged in a square pattern with a side length of 29,25. The outer diameter of the base is 34,25. The material is specified as COBRE, LATÃO ou ALUMINIO.

$\phi 104$   
 $\phi 93,5$   
 $\phi 71$   
 $\phi 154$   
 $\phi 21$   
120  
18  
2  
13  
18  
23  
59  
(2,15)  
2  
2  
M4  
2  
8,5  
29,25  
34,25  
29,25  
34,25  
29,25  
34,25

MATERIAL : COBRE, LATÃO ou ALUMINIO

X: 320.0036 Y: 397.6500

Extend Line > Identify element

Level = 50

