

Caixas de som

Qual a litragem correta?

Todo falante de confiança ao ser fabricado passa por diversos testes para se apurar a litragem mais adequada para se alcançar um melhor rendimento do mesmo. Caso você não tenha idéia da litragem específica de seu falante tome como base uma litragem média de 27 L a 35 L para uma caixa selada levando em conta falantes de 10" a 12" e 35 a 40 L para caixas dutadas. Chama-se de litragem média pois são poucos os falantes de litragem baixa e estes costumam ter um custo alto com relação a falantes similares de potência aproximada.



Caixa de fibra ou madeira MDF?

A verdade é uma só, não existe caixa melhor do que a de madeira MDF feita e litrada segundo o manual do fabricante, mas ela tem suas desvantagens como ocupar um bom espaço do porta-malas, ao contrário das caixas de fibra que são moldadas na lateral do porta-malas que ocupam um espaço muito menor, porém seu som deixa a desejar com relação a uma caixa de madeira MDF, ainda mais se está for dutada o que resultara num grave bem equilibrado, prolongado e um ganho maior de DBs.

Caixas Acústicas



Closed Box



Vented Box



BandPass Box
4a ordem



Iso PushPull Box
4a ordem



BandPass Box
6a ordem



Push Pull
6a ordem



Pull Pull Vented



Pull Pull Closed

Cada uma delas tem características próprias e se prestam melhor a determinados fins.
4a ordem e 6a ordem indicam o grau de atenuação da caixa

● A Caixa Acústica

Woofers e Subwoofers requerem para seu correto funcionamento, instalação dentro de caixas acústicas adequadas às suas características eletromecânicas. A caixa acústica permite ao alto-falante trabalhar em condições ideais, reproduzindo sons com eficiência e qualidade, sem riscos de danos por excesso de excursão.

Uma caixa acústica corretamente calculada e construída, realça a performance do woofer/subwoofer, aumentando a intensidade do som, a potência aplicável e a resposta de transientes.

A Caixa acústica isola a parte dianteira da parte traseira de um alto-falante. Toda fonte de áudio emite radiação sonora para frente e para trás, simultaneamente, mas com polaridades diferentes, isto é, a onda que sai por trás do falante é inversa à onda que sai da frente do falante ou simplificando, defasagem de 180 graus. Portanto como as polaridades das propagações são opostas, fica impossível, sem a caixa, evitar o cancelamento de ondas.

Nas baixas frequências, o cancelamento de ondas é ainda mais prejudicial à qualidade final do áudio porque a propagação das ondas é extremamente difusa, superior a 180 graus. Portanto é o volume da caixa que determina a frequência de sintonia do sistema "caixa-falante". Uma caixa acústica pequena demais joga a frequência de sintonia para cima, deformando a resposta fazendo o sistema gerar distorções e aumentando o risco de o falante queimar.

O cálculo da caixa acústica deve levar em conta os parâmetros *Thiele Small* do alto-falante, bem como o resultado final que se deseja. Se você está procurando graves bem pronunciados e até um pouco retumbantes, o tipo e o tamanho da caixa acústica

e sua sintonia são diferentes do que os adequados a uma resposta de graves potente porém mais bem definida.

Além disso a performance de uma caixa acústica instalada dentro de um veículo, difere substancialmente de seu comportamento em uma sala residencial. Por este motivo, caixas acústicas calculadas utilizando softwares convencionais, apresentam resultados bastante diferentes dos esperados, quando instaladas dentro de um veículo.

O interior de um automóvel pode ser considerado como um campo de pressão, cuja tendência é de reforçar os sons graves, sendo este reforço tanto maior, quanto menores forem o volume interno do veículo e a frequência reproduzida.

Para o cálculo do volume da caixa acústica, será preciso dos:

Parâmetros Thiele-Small

- F_s
- Q_{ts}
- V_{as}
- X_{max}
- SPL

Com a posse desses parâmetros, você pode adquirir qualquer:

Programa para cálculo do volume da caixa disponível na Internet. (este CD dispõe de alguns, mas existem vários).

Existe vários tipos de caixas acústicas, a escolha de uma caixa acústica depende de sua utilização. Para tanto deve-se levar em consideração as características de cada caixa.

CUIDADOS NA CONSTRUÇÃO DE UMA CAIXA ACÚSTICA

Na hora de construirmos uma caixa acústica, devemos sempre estar atentos a alguns detalhes. Estes detalhes fazem a diferença entre um som bom ou ruim, forte ou fraco, etc. Existem alguns pontos que sempre devem ser levados em conta.

A caixa deve ser construída com madeira de espessura suficiente para garantir que as paredes não vibrem. Uma sugestão seria o uso de no mínimo 15mm.

Deve-se vedar todos os cantos da caixa com silicone ou material semelhante.

É aconselhável o uso de matérias como: Underseal (emborrachamento), Manta Asfáltica, etc. Isto garante uma maior rigidez a caixa.

A junção entre o alto-falante e a caixa deve ser bem vendada, com materiais como silicone, massa de calefatar, etc.

Deve-se utilizar caixas que possuam o menor número de paredes paralelas, ou seja, uma caixa do tipo trapézio, cilindro, etc. Caixas com paredes paralelas podem apresentar problemas de cancelamento (perda de eficiência).

Os tipos de caixa acústica

Closed Box (Selada)



- Excelente resposta a transientes
- principalmente para valores de Q_{tc} inferiores a 0,7 situação em que a resposta de graves é prejudicada ($F_3 > F_c$)
- Resposta de frequência plana
- Baixa distorção em toda a faixa
- Pouco reforço em baixa frequência
- Utiliza alto-falantes de alta excursão. (por ter volume interno fixo a caixa evita excursões exageradas do falante, diminuindo o volume em 15% é possível aplicar até 30% a mais de potência)
- Suportam altas potências sem que se aumente o risco de danificar o alto-falante na mesma proporção.
- Ideal para quem deseja um grave puro e profundo
- Bom para Pop, Dance, Heavy Metal e Rock. (músicas com batidas de impacto)
- O volume da caixa Closed podem variar com os seguintes resultados:
 - *Volume menor:*
 - Frequência de sintonia sobe;
 - Resposta de graves menos estendida, menos plana;
 - Graves mais acentuados;
 - Potência aplicável maior;
 - Som mais "duro", grave de ataque;
 - *Volume maior:*
 - Frequência de sintonia desce;
 - Resposta de graves mais estendida (baixas frequências);
 - Resposta mais plana;
 - Potência aplicável menor;
 - Graves mais profundos e mais natural;

Vented Box (Dutada)



- Resposta de graves estendida
- Alto SPL
- Boa resposta a transientes
- Baixa distorção na frequência de sintonia
- Para quem deseja graves reforçados
- O duto permite acentuar a resposta de graves em torno da frequência de sintonia F_b
- O duto pode ser interno, parte interna parte externa à caixa e curva, basta manter o comprimento exigido pelo projeto
- Possui resposta transitória inferior à da caixa fechada.
- Permite muita flexibilidade de projeto, justamente pela variação de sintonia do duto. Este tipo de sistema promove um ganho de cerca de 3 dB a mais que uma caixa selada. Pode ser alinhada para uma resposta mais agressiva em baixa frequência, atuando também no controle de excursão do alto-falante. O duto pode possuir qualquer formato. A sintonia é feita através do volume total do duto, também chamado de pórtilho.
- Bom para Jazz, MPB, Clássico, Pop, Axé, Pagode. (músicas com graves estendidas)
- A excursão do cone na frequência de sintonia F_b fica extremamente reduzida, e cresce para frequências abaixo de F_b .
- O duto funciona como uma espécie de emissor sonoro, contribuindo de forma significativa [nas](#) respostas de baixas frequências. O duto também faz com que o deslocamento do cone seja reduzido, permitindo o uso de falantes de maior sensibilidade (cone de menor massa e bobina com enrolamento de menor altura = conjunto móvel mais leve e eficiente).

Caixa Vented e Bandpass

[Nas](#) caixas vented e bandpass, tanto os volumes quanto as dimensões dos dutos são críticas e não devem ser alteradas, sem cuidadoso recálculo. O diâmetro dos dutos pode ser alterado, desde de que seu comprimento seja ajustado proporcionalmente. Quanto maior for o diâmetro do duto, tanto maior deverá ser o seu comprimento.

BandPass



- Resposta de graves estendida
- Banda de frequência definida
- Boa resposta a transientes
- Alto SPL
- Alta potência
- Esse tipo de caixa acústica comporta-se como um filtro acústico passa faixa, sendo do tipo radiador indireto (o alto-falante não transmite diretamente). Possibilita a obtenção de rendimentos superiores ao de referência do alto-falante, o que não acontece com as caixas do tipo radiador direto (caixa fechada, refletor de graves, etc).
- Utiliza duas câmaras, onde a primeira envolve a parte de depressão do alto-falante (traseira) e possui 2/3 do volume total da caixa. A segunda envolve a parte de pressão (frente) e utiliza 1/3 do volume total. A primeira câmara estabelece o corte FL (frequência de corte inferior) e a segunda o corte FH (frequência de corte superior). Este sistema acústico possui uma resposta muito definida e agradável nos graves, controlando muito bem a excursão do cone do alto-falante.
- Bom para todos os tipos de música.

Isobaric Push Pull



- Neste tipo de caixa acústica dois alto-falantes trabalham com suas zonas de pressão fechadas um contra o outro, ligados em oposição de fase. Enquanto o cone de um dos falantes puxa, o do outro empurra.
- Possui resposta agressiva [nas](#) baixas frequências e utiliza alto-falantes de alta fidelidade
- Esse sistema consiste em uma associação em série, acusticamente falando, de dois alto-falantes idênticos. O alto-falante resultante terá os mesmos valores de F_s e Q_{ts} , mas apenas metade do V_{as} . O resultado disso é que o volume V_b , exigido pela caixa, cai pela metade, assim como o rendimento, que é a grande desvantagem desse sistema. No caso da montagem isobárica push pull, a distorção diminui, devido ao cancelamento proporcionado pela ação complementar das bobinas, deslocando-se no campo magnético.
- Bom para Pop, Dance, heavy Metal e Rock.

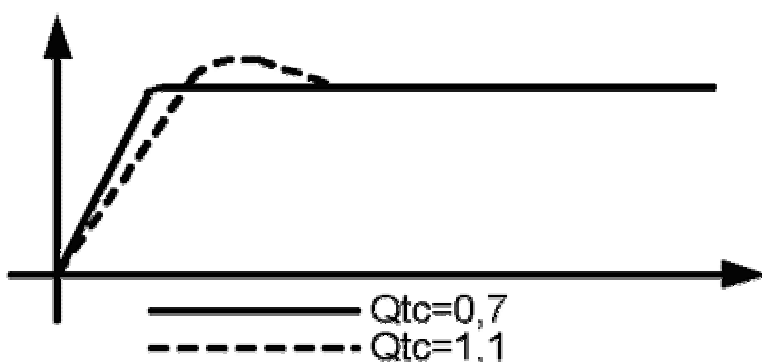
Isobaric Pull Pull

- Dois alto-falantes trabalham, um "olhando" para a parte posterior do outro, fechados entre si por uma pequena câmara, mas ambos em outra câmara selada ou com duto. Este sistema promove ganho de SPL (nível de pressão sonora).
- Possui as mesmas propriedades do Iso Push Pull, exceto quanto a distorção. Alto-falantes com orifício de ventilação traseira não são recomendados para essa aplicação.
- Bom para Pop, Dance, Heavy Metal e Rock.

❶ Construção da caixa acústica

CÁLCULO DO VOLUME DE UMA CAIXA SELADA

Através do cálculo do volume da caixa pode-se obter vários tipos de curva de resposta variando desde uma reprodução sonora "seca" até uma do tipo retumbante. Para isso o cálculo deve levar em conta um determinado valor do Q do conjunto denominado Q_{tc} . Semelhantemente ao alto-falante do valor do Q_{tc} depende o tipo de resposta. Um Q_{tc} da ordem de 0,7 resultará em uma caixa bastante amortecida, com ótima resposta a transientes e resposta de frequências plana. Um $Q_{tc} = 1,1$ propiciará uma resposta mais "encorpada", eficiência máxima e resposta a transientes ligeiramente degradada. Valores menores do que 0,7 ou maiores do que 1,1 são desaconselháveis.



O cálculo do volume da caixa "closed" para um determinado alto-falante é extremamente simples o que faz com que este tipo de caixa seja bastante popular. Devemos em primeiro lugar escolher um Q_{tc} entre 0,7 e 1,1, de acordo com o resultado final desejado. Calcula-se então a relação de compliância.

$$a = (Q_{tc}^2 / Q_{ts}^2) - 1$$

Calcula-se então o volume da caixa acústica pela fórmula a seguir:

$$V_b = V_{as} / a$$

V_b = volume da caixa.

V_{as} = volume equivalente do alto-falante

a = relação de complância

Calculam-se a seguir as frequências de ressonância da caixa (F_c) e a frequência de corte (F_3) de acordo com as fórmulas abaixo.

$$F_c = Q_{tc} \times F_s / Q_{ts}$$

$$F_3 = F_c \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{Q_{tc}^2} - 2\right)} + \sqrt{\left(\frac{1}{Q_{tc}^2} - 2\right)^2 + 4}$$

Se o Q_{tc} escolhido for 0,7 estas duas frequências serão iguais porém se o Q_{tc} for maior, a frequência de corte será inferior à frequência de ressonância e a resposta de graves será entendida (à custa de um menor amortecimento e a uma piora na resposta de transientes). É interessante notar que a escolha do Q_{tc} final vai determinar tanto o volume da caixa quanto a frequência de corte inferior (F_3). Valores baixos de Q_{tc} (perto de 0,7) demandam caixas com grande volume, porém apresentam valores de F_3 menores (a resposta de graves é mais estendida). Valores altos de Q_{tc} conduzem a caixas de menor volume, porém com resposta de graves menos estendida.

É prática comum revestir algumas ou todas as paredes internas da caixa acústica com material absorvente de som (geralmente lã de vidro ou espuma de poliuretano ou poliéster) com a finalidade de absorver as ondas sonoras geradas pela parte traseira do cone, que refletindo nas paredes da caixa podem interferir com os sons produzidos pelo alto-falante causando reforços e atenuações. Este material também ajuda a evitar a formação de ondas estacionárias entre as paredes paralelas da caixa.

O material absorvente, além dos efeitos acima, apresenta a propriedade de promover trocas térmicas entre as zonas de alta pressão e as de baixa pressão dentro da caixa, transformando as variações de pressão de adiabáticas em isotérmicas. Isto na prática equivale a aumentar o volume da caixa acústica até um máximo teórico de 40 % (para a caixa toda cheia de material absorvente). Este efeito deve ser levado em conta nos cálculos acima descritos.

- **- Forma:** A forma geométrica de uma caixa acústica pode influenciar em sua resposta de frequência e rendimento no interior do carro. Isto ocorre devido à formação de ondas estacionárias, as quais provocam defasagens e cancelamentos de frequências. Para evitar a formação de ondas estacionárias, devem ser evitadas medidas iguais ou múltiplas para a altura, largura e profundidade (como uma caixa quadrada) e se possível utilizar paredes não paralelas. Podemos citar como exemplo uma caixa do tipo cubo, esta não seria uma boa caixa, já que possui ângulos iguais e paredes paralelas. Já na caixa trapezoidal estaria próxima ao ideal.

- - **Reforço:** Para funcionamento adequado, as paredes da caixa acústica devem ser rígidas não devendo vibrar devido às altas pressões internas geradas pelo alto-falante. O uso de materiais anti-ruídos e reforços internos unindo painéis opostos ajudam a manter a boa estrutura da caixa. Assim a caixa acústica final deve ser extremamente sólida para não vibrar, assim melhora-se o rendimento do conjunto caixa/falante.
- - **Madeira:** Recomenda-se utilizar aglomerado de média densidade (MDF, uma madeira que parece ser feito de pó de madeira prensado com ótima resistência) ou madeira aglomerada ou compensada com espessura mínima de 15mm. Uma caixa ideal deve ser construída com material que tenha bons níveis de absorção, amortecimento e isolamento acústicos. Caixas moldadas em fibra de vidro ou qualquer outro tipo de resina, além da falta de amortecimento, elas vibram com mais facilidade diminuindo o rendimento do conjunto.
- - **Vedação:** A vedação da caixa é um dos itens mais comprometedores para um bom funcionamento da caixa acústica. Para que isso possa ser evitado, deve-se utilizar silicone nos cantos onde possam existir vazamentos. As juntas devem ser colocadas e aparafusadas e deve-se aplicar internamente um filete de borracha de silicone para obter perfeita vedação. Deve-se também utilizar massa de calafetar ou guarnição de espuma de borracha entre o alto-falante e a caixa acústica para evitar vazamentos de ar.
- - **Forração interna:** Tem como objetivo minimizar reflexões internas do som e ressonâncias, pois estes aumentam o fator de amortecimento da caixa, ela deve ser totalmente revestida em seu interior com **lã de vidro de baixa densidade ou espuma de poliéster ou lã de poliéster**.
A função do revestimento interno é aumentar o fator de amortecimento da caixa, para que não sejam introduzidas colorações e distorções provocadas por ondas estacionárias. O revestimento interno melhora muito a condição de filtro da caixa acústica, para algumas frequências, mas cada sistema acústico possui as suas peculiaridades, quanto ao tipo e quantidade de material fono-absorvente. O revestimento interno também contribui para graves mais perfeitos e timbres mais suaves, mas introduzem perdas de energia acústica.
- - **Forração externa:** A superfície externa da caixa pode ser pintada ou revestida com carpete (colada com cola de sapateiro, amarelo) ou curvin (couro sintético).
- - **Dutos:** Os dutos devem seguir uma relação de comprimento x diâmetro para que atue em uma determinada frequência. O duto pode ser totalmente interno à caixa, parte fora parte dentro da caixa e pode ser curvo (como se fosse um duto reto entortado);
- - **Fixação:** Devido ao alto peso de alguns alto-falantes, a fixação à caixa acústica deve ser feita com parafusos auto-atarrachantes do tipo philips (imagine se fosse chave de fenda e este escapasse direto pro cone do subwoofer....) de diâmetro e comprimento adequados e em número igual aos furos existentes na carcaça.
- - **Local de fixação:** A caixa de um subwoofer pode ser colocada em qualquer lugar do veículo, devido à propriedade não direcional das baixas frequências. No entanto o alto-falante (ou duto, no caso de caixas vented ou band-pass) deve manter uma distância mínima de 5cm de qualquer material que possa obstruir a passagem de som.

Mais exemplos:

CÁLCULO DAS DIMENSÕES DE UMA CAIXA ACÚSTICA

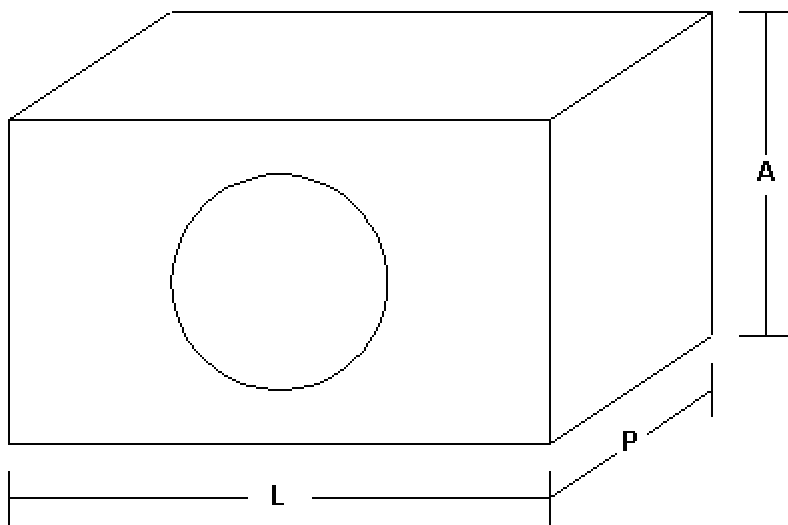
O cálculo das dimensões de uma caixa acústica é muito simples. Há vários formatos de caixa, sendo cada um deles utilizados em casos específicos. As mais comuns são as caixas:

- Retangular
- Trapezoidal
- Cilíndrica
- "Band-Pass"

Abaixo estão os formatos e suas respectivas fórmulas de cálculo.

Caixa Retangular

Retangular é o formato mais conhecido e utilizado nos projetos de Caixas Acústicas. As dimensões podem ser calculadas da seguinte forma:



$$\text{Volume (litros)} = \frac{[\text{Alt} - (2 \times \text{Esp})] \times [\text{Larg} - (2 \times \text{Esp})] \times [\text{Prof} - (2 \times \text{Esp})]}{1000}$$

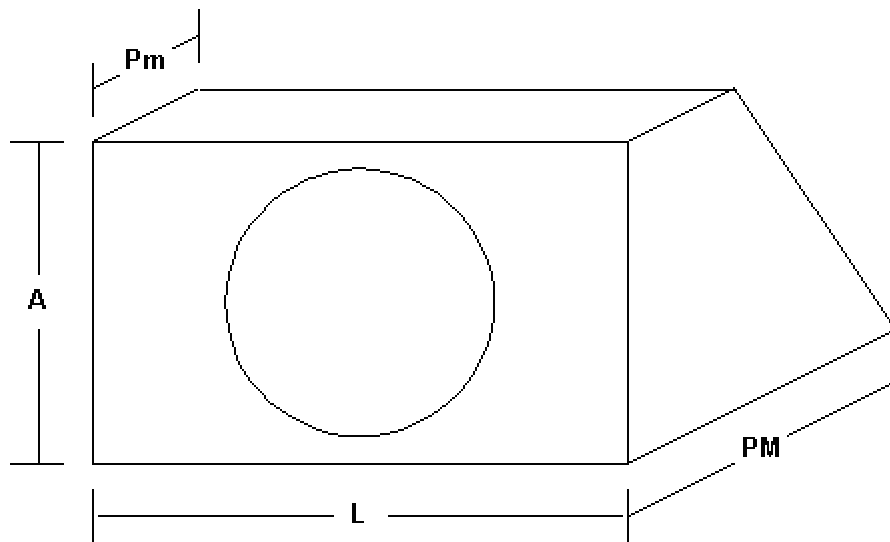
$$A = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{L} - (2 \times \text{E})] \times [\text{P} - (2 \times \text{E})]} \right\} + (2 \times \text{E})$$

$$L = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{A} - (2 \times \text{E})] \times [\text{P} - (2 \times \text{E})]} \right\} + (2 \times \text{E})$$

$$P = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{L} - (2 \times \text{E})] \times [\text{A} - (2 \times \text{E})]} \right\} + (2 \times \text{E})$$

Caixa Trapezoidal

Trapezoidal é um formato muito conhecido por aqueles que trabalham com Som Automotivo, pois este tipo de caixa é muito utilizado nos carros, caminhonetes e vans. Este é similar ao formato retangular, exceto um lado que é inclinado. As dimensões podem ser calculadas da seguinte forma:



$$Vol = \frac{[A \cdot (2 \times E)] \times [L \cdot (2 \times E)] \times [\{(Pm \cdot (2 \times E)) + (PM \cdot (2 \times E))\} / 2]}{1000}$$

$$A = \left\{ \frac{(Vol \times 1000)}{[L \cdot (2 \times E)] \times [\{(Pm \cdot (2 \times E)) + (PM \cdot (2 \times E))\} / 2]} \right\} + (2 \times E)$$

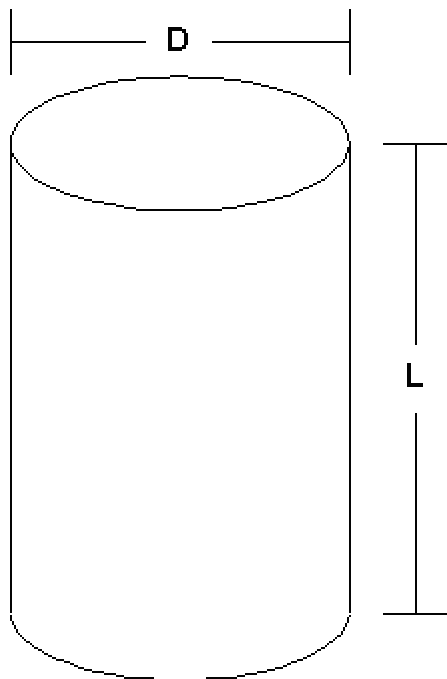
$$L = \left\{ \frac{(Vol \times 1000)}{[A \cdot (2 \times E)] \times [\{(Pm \cdot (2 \times E)) + (PM \cdot (2 \times E))\} / 2]} \right\} + (2 \times E)$$

$$PM = \left\{ \frac{(Vol \times 1000)}{\{[A \cdot (2 \times E)] \times [L \cdot (2 \times E)]\} / 2} \right\} + [(4 \times E) \cdot Pm]$$

$$Pm = \left\{ \frac{(Vol \times 1000)}{\{[A \cdot (2 \times E)] \times [L \cdot (2 \times E)]\} / 2} \right\} + [(4 \times E) \cdot PM]$$

Cilíndrico (Tipo Bazooca)

Cilíndrico é um formato também muito conhecido e utilizado, devido a sua praticidade de manuseio e construção. É um formato bastante simples, pois apresenta apenas duas dimensões. As dimensões desta caixa podem ser calculadas da seguinte forma:



$$\text{Volume} = \frac{\pi \times \left[\frac{\text{Diâmetro} - (2 \times E)}{2} \right]^2 \times [\text{Altura} - (2 \times E)]}{1000}$$

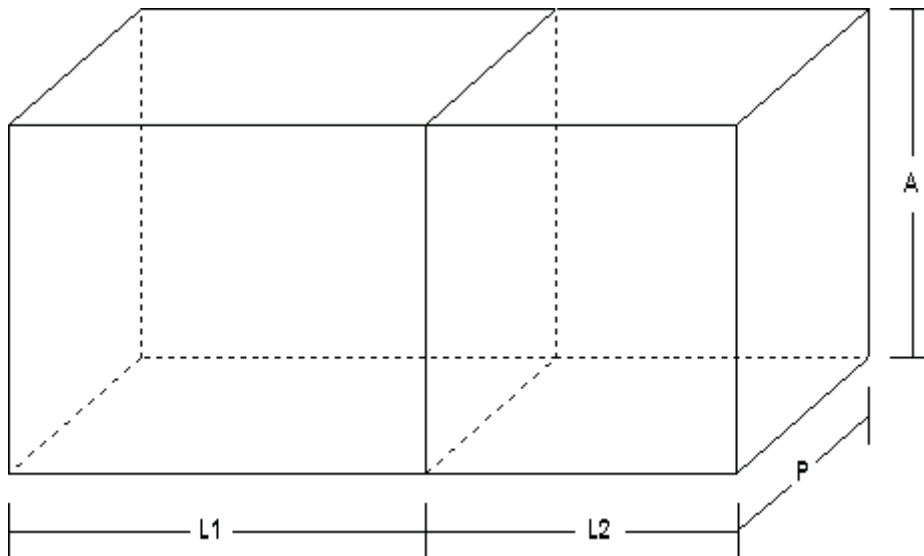
onde consideramos a constante (pi) = 3,1416

$$A = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{\pi \times \left[\frac{D - (2 \times E)}{2} \right]^2} \right\} + (2 \times E)$$

$$D = \left\{ \sqrt{\frac{(\text{Vol} \times 1000)}{\pi \times [A - (2 \times E)]}} \times 2 \right\} + (2 \times E)$$

Band-Pass

Uma caixa Band-Pass possui dois volumes distintos, com o alto-falante montado na parede que os divide. O volume Vb1 corresponde a câmara traseira, esta que controla o limite inferior da resposta de frequência da caixa. O Vb2 corresponde a câmara frontal, a qual controla o limite superior da resposta de frequência da caixa. O duto estará sempre na câmara Vb2. Esta caixa pode ser calculada da seguinte forma:



Câmara Traseira

$$\text{Volume (litros)} = \frac{[\text{Altura} - (2 \times E)] \times [\text{Largura 1} - (2 \times E)] \times [\text{Profundidade} - (2 \times E)]}{1000}$$

$$A = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{L1} - (2 \times E)] \times [\text{P} - (2 \times E)]} \right\} + (2 \times E)$$

$$L1 = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{A} - (2 \times E)] \times [\text{P} - (2 \times E)]} \right\} + (2 \times E)$$

$$P = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{L1} - (2 \times E)] \times [\text{A} - (2 \times E)]} \right\} + (2 \times E)$$

Câmara Frontal

$$\text{Volume (litros)} = \frac{[\text{Altura} - (2 \times E)] \times [\text{Largura 2} - (2 \times E)] \times [\text{Profundidade} - (2 \times E)]}{1000}$$

$$A = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{L2} - (2 \times E)] \times [\text{P} - (2 \times E)]} \right\} + (2 \times E)$$

$$L2 = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{A} - (2 \times E)] \times [\text{P} - (2 \times E)]} \right\} + (2 \times E)$$

$$P = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{L2} - (2 \times E)] \times [\text{A} - (2 \times E)]} \right\} + (2 \times E)$$

GLOSSÁRIO

- **Excursão:** - Movimentação positiva e negativa do conjunto bobina/cone.
- **Resposta a Transientes:** - Capacidade do alto-falante em retornar a sua posição anterior (em repouso), o mais rápido possível após a interrupção do som.
- **Thiele-small:** - Parâmetros de um alto-falante necessários para a construção de uma caixa acústica. Esse é o nome de duas pessoas que criaram estes parâmetros para alto-falantes, Neville Thielle e Richard H. Small

- **MDF:** - Aglomerado chileno, madeira de composição rígida, formado por pó fino de madeira aglomerada muito rígida.
- **Ondas Estacionárias:** - São ondas que se formam devido ao uso de paredes paralelas e ângulos iguais, as quais causam defasagens e inversões de fase, dentro da caixa acústica.