



**ABNT- Associação
Brasileira de Normas
Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13/28^o andar
CEP 20003-900- Caixa Postal
1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
telex: (021) 34333 ABNT-BR
Endereço Telegráfico:
NORMA TÉCNICA

Copyright ### 1998
ABNT - Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil /
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

	Março/2001	PROJETO 03:029.01-023
ELETROACÚSTICA – SISTEMAS DE EQUIPAMENTOS DE SOM PARTE 5: ALTO-FALANTES E CAIXAS ACÚSTICAS		
1º Projeto de Norma		
Folha provisória - não deve ser incluída na publicação como norma		

Apresentação:

I) Este Projeto de Norma:

- 1) foi preparado pela CE- 03:029.01 - Comissão de Estudo de Equipamentos Eletroacústicos, do CB-03 - Comitê Brasileiro de Eletricidade;
- 2) recebe sugestões de forma e objeções de mérito, até a data estipulada no Edital correspondente;
- 3) não tem valor normativo.

II) Tomaram parte na elaboração deste Projeto:

ENTIDADES

ASK
AUDIO EXPRESSO
AUDIO MASTER
BRAVOX
BRAVOX
BIQUAD
dBW
INMETRO
SELENIUM
STUDIO R

REPRESENTANTES

João Honorato
Paulo Albuquerque
Paulo Condaadcki Jr.
Roseval M. Silveira Jr.
Reinaldo de Barros
Rosalfonso Bortoni
Walter Ullmann
Walter E. Hoffmann
Homero Sette
Rui Monteiro



**ABNT- Associação
Brasileira de Normas
Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13/28^o andar
CEP 20003-900- Caixa Postal
1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
telex: (021)) 34333 ABNT-BR
Endereço Telegráfico:
NORMA TÉCNICA

Copyright ### 1998
ABNT - Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil /
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

	Março/2001	PROJETO 03:029.01-023
ELETROACÚSTICA – SISTEMAS DE EQUIPAMENTOS DE SOM PARTE 5: ALTO-FALANTES E CAIXAS ACÚSTICAS		
CB - 03 - Comitê Brasileiro de Eletricidade CE - 03:029.01 - Comissão de Estudo de Equipamentos Eletroacústicos Descriptors: Electroacoustics, Sound System, Loudspeaker Esta Norma foi baseada na IEC 60268-5- Second edition – 1989-07 e nas suas emendas 1 de 1993-04 e 2 de 1996-07		
Palavras-chave: eletroacústica, sistemas de som, alto-falantes, caixas acústicas		páginas

SUMÁRIO

Prefácio

1. Campo de aplicação e objetivo
2. Referências Normativas
3. Condições
 - 3.1 Condições gerais
 - 3.2 Condições para a medição
4. Sinais de teste
 - 4.1 Sinal senoidal
 - 4.2 Sinal de banda larga
 - 4.3 Sinal de banda estreita
 - 4.4** Sinal impulsivo
 - 4.5** Sinais de programas simulados
5. Ambiente acústico
 - 5.1 Condição de campo livre

- 5.2 Condição de meio espaço em campo livre (com um plano refletor)
- 5.3 Condição de campo livre simulado
- 5.4 Condição de meio espaço em campo livre simulado (com um plano refletor)

- 6. Ruído acústico e elétrico indesejado

- 7. Posicionamento de alto-falantes, caixas acústicas e microfones de medição
 - 7.1 Distância de medição em condição de campo livre e em condição de meio espaço em campo livre
 - 7.2 Posicionamento do alto-falante ou caixa acústica e do microfone de medição em condição de campo livre simulado

- 8. Equipamento de medição

- 9. Exatidão das medições acústicas

- 10. Instalação de alto-falantes **ou** caixas acústicas para a medição
 - 10.1 Instalação e carga acústica de alto-falantes
 - 10.2 Instalação e carga acústica de caixas acústicas

- 11. Baffle padrão

- 12. Pré-condicionamento

- 13. Descrição de tipo
 - 13.1 Alto-falantes
 - 13.2 Caixas acústicas

- 14. Identificação dos terminais e controles

- 15. Plano de referência, ponto de referência e eixo de referência
 - 15.1 Plano de referência
 - 15.2 Ponto de referência
 - 15.3 Eixo de referência

- 16. Impedância e características derivadas
 - 16.1 Impedância nominal, (Z_n)
 - 16.2 Curva de impedância
 - 16.3 Fator Q total (Q_t)
 - 16.4 Volume de ar equivalente à compliância do alto-falante (V_{as})

- 17. Tensão de entrada
 - 17.1 Tensão máxima de entrada de curta duração
 - 17.2 Tensão máxima de entrada de longa duração
 - 17.3 Tensão senoidal nominal
 - 17.4 Tensão de ruído nominal

- 18. Potência elétrica de entrada
 - 18.1 Potência máxima de entrada de curta duração
 - 18.2 Potência máxima de entrada de longa duração
 - 18.3 Potência nominal

- 19. Características em frequência
 - 19.1 Faixa de frequências de trabalho
 - 19.2 Frequência de ressonância
 - 19.3 Frequência de sintonia de um sistema refletor de graves ou radiador passivo

- 20. Pressão sonora em condição de campo livre e em condição de meio espaço em campo livre
 - 20.1 Pressão sonora em uma determinada banda de frequências
 - 20.2 Nível de pressão sonora em uma determinada banda de frequências
 - 20.3 Sensibilidade característica em uma determinada banda de frequências
 - 20.4 Nível de sensibilidade característica em uma determinada banda de frequências
 - 20.5 Pressão sonora média em uma determinada banda de frequências
 - 20.6 Nível de pressão sonora média em uma determinada banda de frequências

 - 21. Resposta em condição de campo livre e em condição de meio espaço em campo livre
 - 21.1 Resposta em frequência
 - 21.2 Faixa efetiva de frequências
 - 21.3 Função de transferência

 - 22. **Potência acústica**
 - 22.1 Potência acústica em uma banda de frequências
 - 22.2 Potência acústica média em uma banda de frequências
 - 22.3 Eficiência em uma banda de frequências
 - 22.4 Eficiência média em uma faixa de frequências

 - 23. Características direcionais
 - 23.1 Diagrama de resposta direcional
 - 23.2 Ângulo de radiação
 - 23.3 Índice de diretividade
 - 23.4 Ângulo de Cobertura

 - 24. Não linearidade de amplitude
 - 24.1 Introdução
 - 24.2 Distorção harmônica total
 - 24.3 Distorção harmônica de *n*-ésima ordem
 - 24.4 Distorção harmônica característica
 - 24.5 Distorção total
 - 24.6 Distorção sonora de *n*-ésima ordem
 - 24.7 Distorção característica
 - 24.8 Distorção por modulação de *n*-ésima ordem
 - 24.9 Distorção característica de modulação de *n*-ésima ordem
 - 24.10 Distorção de diferença de frequências

 - 25. Condições ambientais nominais
 - 25.1 **Faixa** limite de temperaturas
 - 25.2 **Faixa** limite de umidade

 - 26. Campo de interferência por espalhamento

 - 27. Características físicas
 - 27.1 Dimensões
 - 27.2 Peso
 - 27.3 Conexões de cabos

 - 28. Dados de projeto

 - 29. Classificação das características a serem declaradas
- Figuras
- Anexo A Bibliografia

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (CB) e Organismos de Normalização Setorial (ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos CB e ONS, circulam para Votação Nacional entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta Norma é baseada na publicação IEC 60268-5 1ª edição de 1989, da emenda 1 de 1993 e da emenda 2 de 1996.

1. Campo de aplicação e objetivo

1.1 Campo de aplicação

Esta Norma se aplica a alto-falantes e caixas acústicas utilizados em sistemas de equipamentos de som, tratados como elementos inteiramente passivos. Alto-falantes e caixas acústicas com amplificadores acoplados estão excluídos.

1.2 Objetivo

O objetivo desta Norma é fornecer características a serem especificadas e os métodos relevantes de medições para alto-falantes e caixas acústicas, utilizando sinais senoidais ou ruídos especificados.

Os métodos de medição citados nesta Norma são aqueles considerados os mais diretamente relacionados com as características.

Nota: outros métodos de medição não são objeto desta Norma.

2. Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma Brasileira. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta, que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas internacionais em vigor em um dado momento.

<i>NBR 5102</i>	<i>Carcaças de alto-falantes circulares – Dimensões básicas</i>
<i>NBR 5103</i>	<i>Carcaças de alto-falantes elípticos – Dimensões básicas</i>
<i>NBR 5104</i>	<i>Alto-falantes circulares – Dimensões básicas dos furos de fixação e abertura dos baffles</i>
<i>NBR 5105</i>	<i>Alto-falantes elípticos – Dimensões básicas dos furos de fixação e abertura dos baffles</i>
<i>NBR 6051</i>	<i>Conexões elétricas para alto-falantes de auto-rádios</i>
<i>IEC 60050(151)(1978):</i>	<i>International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 151: Electrical and magnetic devices.</i>

<i>IEC 60065(1985):</i>	<i>Safety requirements for mains operated electronic and related apparatus for house-hold and similar general use.</i>
<i>IEC 60263(1082):</i>	<i>Scales and sizes for plotting frequency characteristics and polar diagrams.</i>
<i>IEC 60268-1(1985):</i>	<i>Sound system equipment, Part 1: General.</i>
<i>IEC 60268-2(1987):</i>	<i>Sound system equipment, Part 2: Explanation of general terms and calculation methods.</i>
<i>IEC 60268-3(1988):</i>	<i>Sound system equipment, Part 3: Amplifiers</i>
<i>IEC 60268-11(1987):</i>	<i>Sound system equipment, Part 11: Application of connectors for the interconnection of sound system components.</i>
<i>IEC 60268-12(1987):</i>	<i>Sound system equipment, Part12: Application of connectors for broadcast and similar use.</i>
<i>IEC 60651(1979):</i>	<i>Sound level meters.</i>
<i>IEC 61260(1982):</i>	<i>Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters.</i>
<i>ISO 266(1997)</i>	<i>Acoustics - Preferred frequencies.</i>
<i>ISO 3744(1981):</i>	<i>Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources – Engineering methods for free-field conditions over a reflecting plane.</i>
<i>ISO 3745(1977):</i>	<i>Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources – Precision methods for anechoic and semi-anechoic rooms.</i>

3. Condições

3.1 Condições Gerais

Esta Norma deve ser utilizada em conjunto com as seguintes outras:

- IEC 60268-1 (1985): Sound system equipment, Part 1: General.
- IEC 60268-2 (1987): Part 2: Explanation of general terms and calculation methods.

3.2 Condições para a medição

3.2.1 Introdução

Por conveniência, na especificação da instalação de alto-falantes e caixas acústicas para medições, condições normais são definidas nesta Norma. Na obtenção das condições corretas para as medições, alguns valores (conhecidos como “condições nominais”) devem ser obtidos das especificações do fabricante.

Estes valores em si não são objeto de medição, mas constituem a base para a medição de outras características.

Os seguintes itens enquadram-se no anteriormente **exposto**:

- impedância nominal;
- **tensão senoidal nominal**;
- potência **nominal ou tensão** de ruído **nominal** correspondente;
- faixa de freqüências de trabalho;
- plano de referência;
- ponto de referência;
- eixo de referência;
- condições ambientais: temperatura, umidade, pressão atmosférica.

Uma explanação completa do termo “nominal” é dada na IEC 60268-2. Ver também o termo 151-4-03 na IEC 60050 (151).

3.2.2 *Condições normais de medição*

Considera-se que um alto-falante ou uma caixa acústica está trabalhando em condições normais de medição, quando todas as seguintes condições são completamente satisfeitas:

- a) o alto-falante ou a caixa acústica a ser medido está montado de acordo com a seção 10 desta Norma;
- b) o ambiente acústico está especificado e é selecionado dentre aqueles **especificados** na seção 5;
- c) o alto-falante ou a caixa acústica está posicionado, com respeito ao microfone de medição e às paredes, de acordo com a seção 7;
- d) o alto-falante ou a caixa acústica é alimentado com um sinal de teste especificado (ver Seção 4) com uma tensão declarada U , em uma faixa de freqüências nominal (ver 19.1). Se necessário, a potência de entrada P pode ser calculada pela equação $P = U^2/Z_n$, onde Z_n é a impedância nominal (ver 16.1);
- e) atenuadores, se existentes, devem estar colocados na sua posição “normal” conforme declarado pelo fabricante. Se outras posições são escolhidas, por exemplo aquelas que forneçam uma resposta em freqüência de planicidade máxima ou de máxima atenuação, estas devem ser declaradas;
- f) o equipamento de medição apropriado para a determinação das características requeridas está conectado (ver 8).

4. **Sinais de teste**

4.1 *Sinal senoidal*

O sinal senoidal a ser aplicado não deve exceder a tensão senoidal nominal em qualquer freqüência (ver 17.3). A tensão nos terminais de entrada do alto-falante ou caixa acústica em teste é mantida constante para todas as freqüências, salvo declaração em contrário.

4.2 *Sinal de banda larga*

Sinal, limitado em banda por meio de um filtro com resposta definida em amplitude e freqüência, cuja largura é maior que a **resposta** do equipamento em teste. Por razões práticas, uma fonte de ruído rosa com um fator de crista entre 1,8 e 2,2 é recomendada, a fim de evitar-se sobrecarga nos amplificadores.

Um voltímetro de rms verdadeiro com uma constante de tempo pelo menos igual à da resposta lenta “slow” do medidor de nível sonoro, especificado na IEC 60651, deve ser usado.

4.3 *Sinal de banda estreita*

Sinal, limitado em banda por meio de um filtro com resposta definida em amplitude e frequência, cuja largura é pequena em comparação com a **resposta** do equipamento em teste.

Para medições com um ruído de banda estreita, filtros de largura relativa de banda constante (ver IEC 61260) são usados com um gerador de ruído rosa, sendo a largura relativa de banda usualmente igual a $\frac{1}{3}$ de oitava.

4.4 *Sinal impulsivo*

Pulso de curta duração com potência espectral constante por unidade de banda em uma faixa de frequências pelo menos tão grande quanto a faixa de frequências de interesse.

Devido a estes sinais terem baixo conteúdo de energia com relação às suas amplitudes, a amplitude de pico deve ser a maior possível, consistente com a operação linear do alto-falante, a fim de minimizar as contribuições de ruídos acústicos e elétricos relativas aos sinais aplicados.

4.5 *Sinais de Programas Simulados*

Sinais utilizados para a simulação de programas musicais típicos com diferentes conteúdos espectrais na região de baixas frequências.

4.5.1 *Sinal de programa musical simulado para uso genérico.*

Sinal que visa simular um programa musical típico para ensaios de alto-falantes ou caixas acústicas, com o objetivo da obtenção da potência nominal conforme a resposta de frequência mostrada na figura 9a. Este sinal pode ser obtido através do circuito mostrado na figura 9b .

4.5.2 *Sinal de programa musical simulado com extensão nas baixas frequências*

Sinal que visa simular um programa musical típico para ensaios de alto-falantes ou caixas acústicas, quando se deseja enfatizar o comportamento em baixas frequências com o objetivo da obtenção da potência nominal conforme a resposta de frequência mostrada na figura 10a. Este sinal com um maior conteúdo de baixas frequências, geralmente tende a provocar um maior deslocamento do conjunto móvel, submetendo a suspensão a maiores esforços. No entanto, o maior deslocamento de **ar provocado** pode produzir uma melhor refrigeração do sistema aumentando assim a potência suportada.

Este sinal pode ser obtido através de **um ruído** rosa ponderado conforme o circuito sugerido na figura 10b .

5. **Ambiente acústico**

Medições acústicas devem ser realizadas em uma das seguintes condições, sendo a escolha indicada com os resultados.

5.1 *Condição de campo livre*

Condição acústica que se aproxima àquela encontrada no espaço livre. Qualquer ambiente é considerado satisfatório (por exemplo, uma câmara anecóica) no qual a pressão sonora decaia com a distância (r) a uma fonte pontual de acordo com a lei de $1/r$, com uma exatidão de $\pm 10\%$, na região ocupada pelo alto-falante ou caixa acústica e o microfone durante a medição.

A Condição de campo livre deve existir sobre toda a faixa de freqüências de medição.

5.2 *Condição de meio espaço em campo livre (com um plano refletor)*

Condição acústica na qual o campo livre existe em um meio espaço. Esta condição é satisfatoriamente mantida com um plano refletor de tamanho suficiente a simular um baffle infinito para a mais baixa freqüência analisada, de modo que a pressão sonora de uma fonte pontual montada dentro da superfície deste plano decresça na forma especificada em 5.1.

5.3 *Condição de campo livre simulado*

Condição acústica que é equivalente àquela de espaço livre durante o período de tempo necessário para uma medição.

A condição existe em quaisquer ambientes (por exemplo ambientes grandes, desobstruídos) nos quais um som emitido por um alto-falante, em resposta a um sinal impulsivo, chegue ao microfone pelo caminho direto e possa ser medido antes da chegada do primeiro som refletido.

Notas:

- 1 esta condição normalmente é usada somente para medições com sinais impulsivos ou pulsados.
- 2 nesta condição, medições sucessivas são separadas por intervalos de tempo, suficientes para o que o nível de pressão sonora devido a reverberação no ambiente diminua para um valor desprezível.

5.4 *Condição de meio espaço em campo livre simulado (com um plano refletor)*

Condição acústica na qual o campo livre simulado existe em um meio espaço. Esta condição é satisfatoriamente alcançada quando o plano refletor tem tamanho suficiente para que nenhuma reflexão de suas extremidades **alcance** o microfone durante a medição.

6. **Ruído acústico e elétrico indesejado**

Ruídos acústicos e elétricos indesejáveis devem ser mantidos em níveis o mais baixo possível, uma vez que sua presença mascara sinais de baixos níveis.

Dados obtidos com sinais que estejam a menos de 10 dB acima do nível de ruído na banda de freqüências considerada devem ser descartados.

7. **Posicionamento de alto-falantes, caixas acústicas e microfones de medição**

7.1 *Distância de medição em condição de campo livre e em condição de meio espaço em campo livre.*

Idealmente as medições em condição de campo livre e em condição de meio espaço em campo livre devem ser realizadas no campo afastado do alto-falante, a fim de garantir a obtenção de resultados consistentes. A aproximação para a condição de campo afastado melhora quando a distância entre o alto-falante ou caixa acústica e o microfone de medição é aumentada. As imperfeições do ambiente na câmara de medição e os efeitos do ruído de fundo colocam um limite superior à distância que pode ser utilizada na prática.

Para simular aproximadamente as condições de uso, medições devem ser realizadas a uma distância similar àquela do(s) ouvinte(s), por exemplo, 2 m a 3 m para sistemas de som domésticos e mais que 10 m para sistemas de som profissionais, mas estas distâncias ainda podem ser muito grandes para os ambientes de medição existentes, se as dificuldades mencionadas anteriormente devem ser evitadas. A redução da distância de medição para contornar estas dificuldades pode resultar no microfone sendo posicionado no campo próximo, de forma que, por exemplo, pequenas variações no posicionamento do microfone resultem em grandes variações, funções da freqüência,

na pressão sonora, devidas a fenômenos de interferência. Estes inconvenientes podem ocorrer em quaisquer sistemas de fontes múltiplas onde o espaçamento entre os transdutores trabalhando na mesma frequência é comparável à distância de medição. Se a distância de medição escolhida, juntamente com as características direcionais do alto-falante ou caixa acústica resultam em uma medição em campo próximo, onde a pressão sonora não varia inversamente com a distância de medição, então os resultados de medições referentes a outras distâncias, assumindo a razão $1/r$ podem causar erros significativos.

Nota 1: tais cálculos podem ser usados todavia para comparações entre transdutores/sistemas que possuam características direcionais muito similares e, com o objetivo de facilitar estas comparações, é recomendado que a distância de medição seja de 0,5 m ou um número inteiro de metros e que o resultado deva ser referenciado a uma distância padrão de 1 m.

Nota 2: o cálculo dos erros devidos a fontes de tamanhos finitos e pequenas distâncias de medição não é usual, uma vez que os erros calculados e observados raramente concordam.

7.1.1 Caixas acústicas com alto-falante único

Para este tipo de sistema, uma distância de medição de 1 m do ponto de referência pode ser utilizada, a não ser que exista uma boa razão para a utilização de um outro valor; em qualquer caso a distância usada deve ser declarada.

7.1.2 Sistemas com vários alto-falantes ou caixas acústicas

Sistemas nos quais dois ou mais alto-falantes ou caixas acústicas reproduzem a mesma banda de frequências, podem criar problemas de interferência acústica no ponto de medição devido à interação dos sons radiados pelas unidades. Esta situação existe tanto quando todas as unidades operam na mesma faixa de frequências, ou quando algumas unidades estão operando sobre partes desta banda (por exemplo, nas regiões da frequência de corte dos divisores de frequência). Em tais casos, a distância de medição deve ser aumentada de forma a minimizar os erros devidos a este fenômeno.

7.2 Posicionamento do alto-falante ou caixa acústica e do microfone de medição em condição de campo livre simulado

A distância de medição deve ser escolhida com referência a 7.1 para a condição de campo livre.

As posições do alto-falante ou caixa acústica e do microfone no ambiente de medição devem ser tais que maximizem o tempo disponível para medições antes que a primeira reflexão alcance o microfone.

Se o ambiente de medição é uma câmara anecóica, deve-se tomar cuidado com as reflexões oriundas dos topos das cunhas, do piso de sustentação e dos suportes para o alto-falante ou caixa acústica e o microfone.

Erros devidos a estas fontes não devem exceder 0,5 dB na faixa de frequências de interesse.

A distância do microfone e o tempo máximo disponível de captura do sinal no ambiente devem ser declarados.

É necessário ignorar toda a saída do microfone a partir do instante de chegada da primeira reflexão. Erros de truncamento na função de transferência da medição são introduzidos desta forma, a menos que a resposta do alto-falante ou caixa acústica para o sinal de teste impulsivo seja desprezível após este tempo. Se presentes, os erros de truncamento não devem exceder 1 dB na faixa de frequências de medição.

8. Equipamento de medição

As medições devem ser feitas com um microfone cuja curva de sensibilidade para campo livre é conhecida.

O gerador de sinais, o amplificador que fornece o sinal ao alto-falante ou caixa acústica e o equipamento de medição (incluindo o microfone e seu pré-amplificador) devem ter uma resposta de amplitude conhecida e constante dentro de $\pm 0,5$ dB na faixa de frequências de interesse e uma não linearidade em amplitude desprezível nas condições de ensaio (ver Seção 24). Todos os instrumentos de medição devem ser do tipo rms verdadeiro, tendo uma constante de tempo suficientemente longa para assegurar um erro não maior que 1 dB nas piores condições.

Nota: é recomendado que a resposta em frequência seja medida por um método automático fornecendo uma curva contínua.

9. Exatidão das medições acústicas

A faixa de frequências sobre a qual os erros totais não excedem ± 2 dB deve ser declarada.

10. Instalação de alto-falantes ou caixas acústicas para medição

10.1 Instalação e carga acústica de alto-falantes

O desempenho de um alto-falante ou caixa acústica é determinado pelas propriedades da própria unidade e sua carga acústica. A carga acústica depende da forma da instalação, a qual deve ser descrita claramente na apresentação dos resultados.

Três tipos de instalação são considerados:

- a) em um baffle padrão ou em uma caixa especificada;
- b) ao ar livre sem baffle ou caixa;
- c) em meio espaço em campo livre, rente ao plano refletor.

Nota: a condição de instalação a) se aproxima daquela em um meio espaço em campo livre até uma frequência limite inferior, cujo valor depende da distância de medição escolhida. Medições feitas em frequências abaixo deste valor limite podem ser usadas somente para fins comparativos.

10.2 Instalação e carga acústica de caixas acústicas

Caixas acústicas são usualmente medidas sem qualquer baffle. Se o fabricante especificar um tipo especial de instalação para a caixa acústica, esta deve ser usada para a medição; o método de instalação usado deve ser fornecido junto com os resultados.

11. Baffle padrão

O baffle padrão deve ser feito com uma superfície frontal plana acusticamente reflexiva. Ele deve possuir uma espessura adequada para assegurar vibrações desprezíveis. O baffle deve ter as dimensões citadas na figura 6. A borda do elemento radiante deve estar rente à superfície frontal do baffle. Isto pode ser alcançado por meio de um chanfro conforme mostrado na figura 7 ou através do uso de um sub-baffle de espessura reduzida, com ou sem um chanfro, como mostrado na figura 8.

Nota: por razões práticas, considera-se que o baffle padrão deve ter a menor de suas dimensões maior ou igual a um quarto do comprimento de onda da mais baixa frequência de interesse.

12. Pré-condicionamento

Mudanças permanentes podem ocorrer em um alto-falante como resultado, por exemplo, do movimento do diafragma. Assim é recomendado que o alto-falante seja pré-condicionado antes das medições, pela aplicação do sinal de teste especificado na IEC 60268-1 com uma tensão nominal durante pelo menos uma hora.

O período de pré-condicionamento deve ser seguido de um período de repouso de pelo menos uma hora, durante o qual o alto-falante deve ser desconectado, antes do prosseguimento com a medição.

13. Descrição de tipo

A descrição de tipo deve ser fornecida pelo fabricante, de acordo com o que se segue:

13.1 Alto-falantes

13.1.1 Princípio de funcionamento

Por exemplo, eletrostático, eletrodinâmico, piezoelétrico, etc.

13.1.2 Tipo

Por exemplo, woofers, drivers de compressão, tweeters, etc.

13.2 Caixas acústicas

13.2.1 Princípio de funcionamento

Sistemas de radiação direta (refletor de graves, suspensão acústica, etc) ou indireta (cornetas, linhas de transmissão, etc)

13.2.2 Tipo

Quantidade e tipo de alto-falantes utilizados.

14. Identificação dos terminais e controles

Os terminais e controles devem ser identificados de acordo com as normas IEC 60268-1 e IEC 60268-2.

15. Plano de referência, ponto de referência e eixo de referência (estas são condições nominais, ver 3.2.1)

15.1 Plano de referência

Característica a ser especificada

O plano de referência é um plano, cuja posição com respeito a alguma característica física do alto-falante ou caixa acústica deve ser especificada pelo fabricante.

O plano de referência é usado para a definição da posição do ponto de referência e da direção do eixo de referência.

Nota: para estruturas simétricas, o plano de referência é usualmente paralelo à superfície de radiação ou ao plano definido pela face frontal do alto-falante, caixa acústica ou sistema. Para estruturas assimétricas, o plano de referência é melhor definido por meio de um diagrama.

15.2 Ponto de referência

Característica a ser especificada

Um ponto, no plano de referência, cuja posição deve ser especificada pelo fabricante.

Nota: para estruturas simétricas, o ponto de referência é usualmente um ponto de simetria geométrica; para estruturas assimétricas, o ponto de referência é melhor definido por meio de um diagrama.

15.3 Eixo de referência

Característica a ser especificada

A linha que atravessa o plano de referência no ponto de referência em uma direção que deve ser especificada pelo fabricante. O eixo de referência deve ser usado como o eixo de referência zero para medições de respostas direcional e em frequência.

Nota: para estruturas simétricas, o eixo de referência é usualmente perpendicular à superfície radiante ou ao plano de referência.

16. Impedância e características derivadas

16.1 Impedância nominal (Z_n) (ver 3.2.1)

Característica a ser especificada

A impedância nominal, declarada pelo fabricante, será assumida como uma resistência elétrica pura, cujo valor irá substituir o alto-falante ou caixa acústica para fins de determinação da potência elétrica fornecida pela fonte.

O menor valor do módulo da impedância na faixa de frequências de trabalho não deve ser menor que 80 % da impedância nominal. Se a impedância em qualquer frequência fora desta faixa de frequências (incluindo c.c.) é menor que este valor, isto deve ser declarado nas especificações.

16.2 Curva de impedância

16.2.1 Característica a ser especificada

Representação do módulo da impedância em função da frequência.

16.2.2 Método de medição

1. O alto-falante ou caixa acústica é levado às condições normais de medição (ver 3.2.2, condições a), b) e d)).
2. Uma tensão ou corrente de amplitude constante é fornecida. O Valor da tensão ou corrente escolhida para a medição deve ser suficientemente pequena para assegurar que o alto-falante ou caixa acústica operem em uma região linear, sem elevação significativa da temperatura da bobina, a menos que expressamente especificado em contrário.

Nota: correntes demasiadamente pequenas podem levar a erros de medição devidos ao acoplamento acústico do alto-falante ou da caixa acústica com o ambiente.

3. O módulo da impedância deve ser medido pelo menos na faixa de frequências de 20 Hz a 20 kHz.

4. O resultado deve ser apresentado graficamente em função da frequência; o valor da tensão ou da corrente de medição deve ser declarado com os resultados.

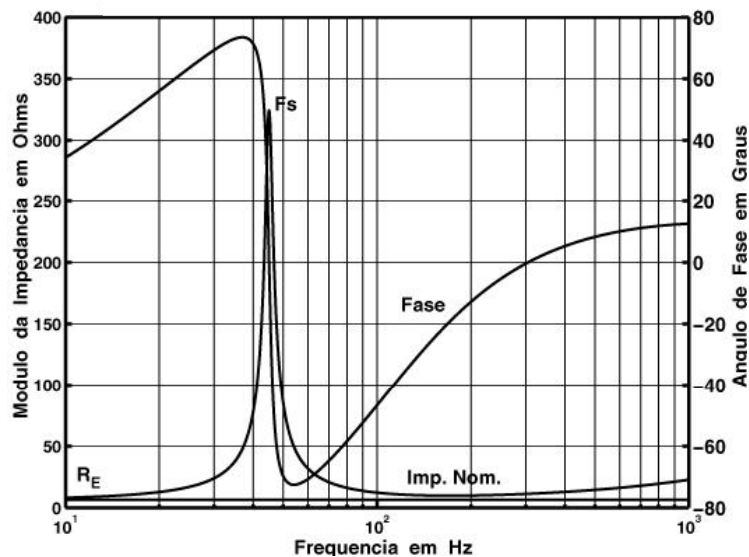


Fig. 1 - Curva de impedância do alto-falante ao ar livre

16.3 Fator Q total (Q_t)

16.3.1 Característica a ser especificada

Razão entre a parte inercial (ou elástica) da impedância acústica na frequência de ressonância (ver 19.2) e a parte resistiva desta impedância. O fator Q_t é resultado da interação entre os fatores de mérito elétrico (Q_e) e mecânico (Q_m), sendo dado pela equação:

$$Q_t = \frac{Q_e \cdot Q_m}{Q_e + Q_m}$$

Notas:

- 1 para os propósitos desta Norma, o fator Q_t é definido para alto-falantes e caixas acústicas fechadas. Em ambos os casos, apenas para transdutores eletrodinâmicos;
- 2 o fator Q_t , juntamente com o volume equivalente V_{as} (ver 16.4) do alto-falante ou caixa acústica e a frequência de ressonância f_s (ver 19.2), definem adequadamente o desempenho do alto-falante ou caixa acústica nas baixas frequências
- 3 o índice "s" utilizado nesta Norma se refere ao termo em inglês "speaker" (alto-falante); o índice "c" se refere ao termo em inglês "closed box" (caixa fechada) e o índice "b" se refere ao termo em inglês "box" (caixa).

16.3.2 Método de medição do fator Q_t

O fator Q_t pode ser derivado da curva de impedância elétrica do alto-falante ou caixa acústica (ver 16.2), utilizando-se a expressão:

$$Q_t = \frac{1}{r_0} \cdot \frac{f_s}{f_2 - f_1} \sqrt{\frac{r_0^2 - r_1^2}{r_1^2 - 1}}$$

onde:

f_s é a frequência de ressonância do alto-falante (ver 19.2). No caso de sistemas caixa fechada, f_s é substituído por f_c .

r_0 é a razão entre a magnitude máxima da impedância, $Z(j\omega)_{max}$, em f_s (ou f_c) e a resistência ôhmica da bobina do alto-falante ou caixa acústica, R_E . (ver 16.2).

f_1 e f_2 são frequências cujo produto é igual ao quadrado de f_s (ou f_c), sendo $f_1 < f_s < f_2$ (ou $f_1 < f_c < f_2$), nas quais as magnitudes da impedância são iguais a $Z(j\omega)_{12}$.

r_1 é a razão $|Z(j\omega)_{12}| / R_E$, em f_1 e f_2 .

Nota: no equacionamento acima, a indutância da bobina foi desprezada em virtude do fator Q_t ser determinado em baixas frequências.

A expressão para Q_t pode ser simplificada para:

$$Q_t = \frac{1}{\sqrt{r_0}} \cdot \frac{f_s}{f_2 - f_1}, \text{ escolhendo-se } r_1 = \sqrt{r_0}$$

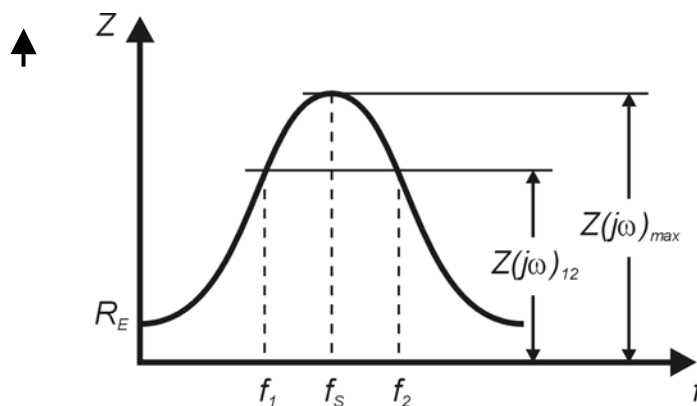


Fig. 2 - Grandezas utilizadas na determinação do fator Q_t

16.4 Volume de ar equivalente à compliância do alto-falante (V_{as})

16.4.1 Característica a ser especificada

Volume de ar cuja compliância acústica é igual à compliância do alto-falante.

Nota: o volume equivalente V_{as} juntamente com o fator Q_t (ver 16.3) e a frequência de ressonância f_s (ver 19.2), definem adequadamente o desempenho do alto-falante ou caixa acústica em baixas frequências, sendo útil no projeto de caixas acústicas.

16.4.2 Método de medição

O Volume Equivalente do alto-falante pode ser obtido com o transdutor ao ar livre ou instalado em uma caixa (fechada ou com duto).

No caso do alto-falante ser instalado em uma caixa, a parte reativa da impedância de radiação, vista pelo cone, aumenta em relação ao valor existente com o alto-falante ao ar livre. Essa componente é originada pela massa acústica imposta pelo meio, sendo modelada como uma reatância indutiva que, refletida do lado acústico para o mecânico, se soma ao valor da massa mecânica deslocada, aumentando assim o valor da massa móvel do alto-falante (M_{ms}), resultando no abaixamento da frequência de ressonância do alto-falante.

Este efeito pode ser observado facilmente, comparando-se o valor de f_s , medido ao ar livre, com aquele obtido com o alto-falante instalado em um baffle, quando se constata a redução no valor de f_s .

Desta forma, deve ser feita uma distinção entre a frequência de ressonância ao ar livre, f_s , e aquela correspondente ao alto-falante instalado em uma caixa, denominada f_{sb} (box), pois isso influenciará no valor de V_{as} que será obtido.

16.4.2.1 Caixa fechada

A curva da impedância da bobina de um alto-falante, instalado em uma caixa fechada, é análoga à do alto-falante ao ar livre.

Enquanto ao ar livre o pico acontece em f_s , na caixa fechada o máximo da impedância ocorre em f_c , que é sempre maior que f_s . A frequência de ressonância do sistema caixa fechada, f_c , não deve ser confundida com a frequência de ressonância da caixa refletora de graves, f_b (que só depende do volume interno líquido da caixa, V_b , e do duto), nem com a frequência de ressonância do alto-falante, dentro da caixa (fechada ou com duto), f_{sb} .

O aspecto da curva de impedância do alto-falante ao ar livre é função de Q_{ts} , enquanto que na caixa fechada, depende de Q_{tc} , seu análogo.

Desse modo, f_c , Q_{tc} , Q_{ec} e Q_{mc} são medidos da mesma maneira que f_s , Q_{ts} , Q_{es} e Q_{ms} , diferindo apenas no fato de que, no primeiro grupo de parâmetros, o alto-falante está instalado em uma caixa fechada e, no segundo, o alto-falante está ao ar livre, sendo os procedimentos idênticos no restante.

Levando-se em conta a influência da massa acústica introduzida pela caixa, a expressão que relaciona os picos na impedância do alto-falante ao ar livre e em uma caixa fechada, permite, através de α a obtenção de V_{as} .

$$f_c^2 = f_{sb}^2 \cdot (1 + \alpha)$$

$$\alpha = \frac{V_{as}}{V_b} = \frac{f_c^2}{f_{sb}^2} - 1$$

$$V_{as} = V_b \cdot \left[\left(\frac{f_c}{f_{sb}} \right)^2 - 1 \right]$$

onde α é a razão entre as compliâncias do alto-falante e da caixa;

f_{sb} é a frequência de ressonância do alto falante instalado em uma caixa qualquer;

V_b é o volume interno líquido da caixa de teste, levando-se em conta o volume de ar ocupado pelo alto-falante.

Como o valor de f_{sb} depende dos parâmetros do alto-falante ao ar livre e aqueles do sistema caixa fechada, pode-se obter o valor de V_{as} conforme abaixo, sendo o valor de Q_{tc} obtido da mesma maneira que o de Q_{ts} (ver 16.3.2), com uma única diferença: o alto-falante deverá estar instalado em uma caixa fechada, de volume V_b , e não ao ar livre.

$$f_{sb}^2 = f_s \cdot Q_{ts} \cdot \frac{f_c}{Q_{tc}}$$

$$V_{as} = V_b \cdot \left(\frac{f_c}{f_s} \cdot \frac{Q_{tc}}{Q_{ts}} - 1 \right)$$

Os fatores de qualidade do alto-falante também se alteram em função de f_{sb} , podendo ser calculados a partir dos valores ao ar livre, conforme a seguinte equação:

$$\frac{Q_{tsb}}{Q_{ts}} = \frac{Q_{msb}}{Q_{ms}} = \frac{Q_{esb}}{Q_{es}} = \frac{f_s}{f_{sb}}$$

onde: Q_{tsb} é o fator de mérito total do alto-falante instalado na caixa;
 Q_{msb} é o fator de mérito mecânico do alto-falante instalado na caixa;
 Q_{esb} é o fator de mérito elétrico do alto-falante instalado na caixa.

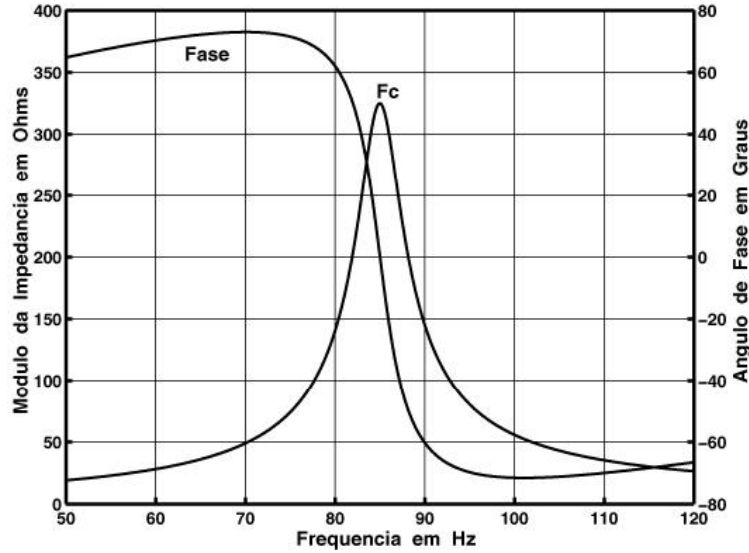


Fig. 3 – Curvas de fase e do módulo da impedância referentes a um alto-falante instalado em caixa fechada, sendo f_c a freqüência correspondente ao pico na impedância, onde a fase vale zero.

16.4.2.2 Caixa com duto

Quando um alto-falante é instalado em uma caixa refletora de graves, surgem dois picos na curva da impedância, nas freqüências f_L e f_H , sendo $f_L < f_H$, e um ponto de mínimo em f_m .

Desprezando-se a influência das perdas e da indutância da bobina, a freqüência correspondente ao mínimo da impedância é igual à f_b , a freqüência de sintonia da caixa, e nos pontos de máximo e de mínimo, a fase é nula. No entanto, na prática, isso só se verifica aproximadamente.

As freqüências f_L , f_H e f_b correspondem aos pontos em que a fase é nula.

$$f_{sb} = \frac{f_L \cdot f_H}{f_b}$$

Considerando $f_m \cong f_b$, resulta:

$$f_{sb} = \frac{f_L \cdot f_H}{f_m}$$

$$\alpha = \frac{V_{as}}{V_b} = \frac{f_L^2 + f_H^2 + f_m^2 - 2 \cdot f_b^2}{f_{sb}^2} - 1$$

$$V_{as} = V_b \cdot \frac{f_L^2 + f_H^2 - f_b^2}{f_{sb}^2} - 1$$

Os resultados das medidas efetuadas em uma caixa com duto são afetados por dois fatores adversos, que são:

- a) o acoplamento entre o duto e o alto-falante, que aproxima entre si os valores de f_L e f_H , sem alterar f_b , mas aumentando o valor de f_{sb} , que em alguns casos fica maior que f_s , contrariando as expectativas, conforme observado por **Locanthi⁽¹⁾** e, posteriormente, por **Small⁽²⁾**. Realmente, se isso acontecer, o valor de f_{sb} aumenta, ao invés de diminuir.

b) **Homero Vai mandar as referencias bibliográficas**

Pelo mesmo motivo, o valor de α tende a diminuir. Ainda, segundo Small, se o valor de α estiver sendo determinado com a finalidade de se obter V_{as} , deve-se preferir o método da caixa fechada; mas, se o objetivo for calcular a resposta do sistema, a alteração na mesma será insignificante, mesmo com a influência do acoplamento.

- b) as perdas na caixa e a indutância da bobina, que alteram o valor de f_b .

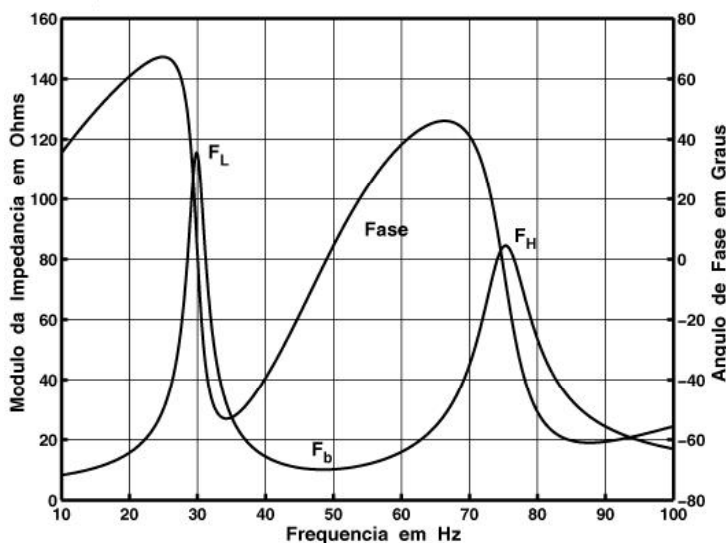


Fig. 4 - Curvas de fase e do módulo da impedância, típicas de um alto-falante instalado em caixa refletora de graves.

16.4.2.3 – Ao ar livre

Como o volume equivalente do alto falante é dado por:

$$V_{as} = \rho c^2 C_{ms} S_d^2$$

onde S_d é a área efetiva do cone do alto-falante, podemos obter V_{as} através do valor da compliância mecânica C_{ms} , que pode ser medida através da variação na frequência de ressonância ao ar livre, f_s , acarretada pela adição de uma massa M conhecida, ao cone do alto-falante.

Esta massa, que não pode ser de material ferromagnético (para não interagir com o campo), medida com uma balança de precisão, geralmente consiste em massa para calafetar aplicada uniformemente na junção da calota com o cone.

O processo implica em medir o valor de f_s , sem massa, e repetir o mesmo processo, depois de adicionada a massa M , para obter o novo valor da frequência de ressonância, denominada f_{sM} . Feito isso, a compliância será dada por:

$$C_{ms} = \frac{\frac{1}{f_{sM}^2} - \frac{1}{f_s^2}}{4 \cdot \pi^2 \cdot M}$$

e a massa móvel será dada por:

$$M_{ms} = \frac{M}{\frac{f_s^2}{f_{sM}^2} - 1}$$

17. Tensão de entrada

17.1 Tensão máxima de entrada de curta duração

17.1.1 Característica a ser especificada

Tensão rms máxima que o transdutor pode suportar, sem causar danos permanentes, por um período de 1 s quando a excitação é um sinal de programa simulado (ver 4.5).

O sinal de teste deve ser repetido 60 vezes com intervalos de 1 min.

Nota: entende-se como dano permanente qualquer alteração que impeça o funcionamento normal do alto-falante ou que leve a uma mudança irreversível e inaceitável nas características e tolerâncias declaradas pelo fabricante.

17.1.2 Método de medição

O método de medição para a tensão de ruído nominal (ver 17.4.2) é aplicado, mas a fonte de sinal de teste é uma fonte chaveada de sinal de programa simulado de ruído ponderado (ver 4.5).

O período de teste é de 1 s e deve ser repetido 60 vezes com intervalos de 1m .

17.1.3 Dispositivos de proteção

17.1.3.1 Se o alto-falante ou caixa acústica é equipado com um dispositivo protetor, a tensão máxima de entrada de curta duração deve ser tomada como a tensão de entrada aplicada pelo período de tempo específico que faz com que o dispositivo de proteção atue.

17.1.3.2 Se a operação de um dispositivo de proteção faz com que a impedância de carga apresentada pelo alto-falante ou caixa acústica ao amplificador caia abaixo de 80 % da impedância nominal em qualquer frequência, o valor mínimo da impedância de entrada do alto-falante ou caixa acústica deve ser declarado pelo fabricante.

17.2 Tensão máxima de entrada de longa duração

17.2.1 Característica a ser especificada

- 1) A tensão rms máxima que o transdutor pode suportar sem sofrer danos permanentes, por um período de 1min quando a excitação é um sinal de programa simulado (ver 4.5).
- 2) O sinal de teste deve ser repetido 10 vezes com intervalos de 2 min.

17.2.2 Método de medição

O método de medição para a tensão de ruído nominal (ver 17.4.2) se aplica, sendo o sinal de teste definido em 4.5.

17.2.3 Dispositivos de proteção

17.2.3.1 Se o alto-falante ou caixa acústica é equipado com um dispositivo protetor, a tensão máxima de entrada de longa duração deve ser tomada como a tensão de entrada aplicada pelo período de tempo específico que faz com que o próprio dispositivo de proteção atue.

17.2.3.2 Se a operação de um dispositivo protetor faz com que a impedância de carga apresentada pelo alto-falante ou caixa acústica ao amplificador caia abaixo de 80 % da impedância nominal em qualquer frequência, o valor mínimo da impedância de entrada do alto-falante ou caixa acústica deve ser declarado pelo fabricante.

17.3 Tensão senoidal nominal (ver 3.2.1)

Característica a ser especificada

Tensão rms declarada pelo fabricante para um sinal senoidal máximo de amplitude constante dentro de uma faixa nominal de frequências, onde o alto-falante ou caixa acústica possa ser operado continuamente sem quaisquer danos térmicos e/ou mecânicos.

Ela é válida como um limite para as medições utilizando-se sinais senoidais durante um período de 1 h.

Notas:

1. Esta tensão pode variar em função da frequência, de modo que diferentes valores podem ser especificados em distintas faixas de frequências.
2. estes valores dependem da forma pela qual o alto-falante é montado (ver seção 10).

17.4 Tensão de ruído nominal (ver 3.2.1)

17.4.1 Característica a ser especificada

Tensão rms declarada pelo fabricante, em um sinal de teste simulado (ver 4.5) dentro de uma faixa de frequências onde o alto-falante ou caixa acústica possa ser operado sem quaisquer danos térmicos ou mecânicos.

Nota: esta tensão depende da forma como o alto-falante é montado (ver seção 10).

17.4.2 Método de ensaio

1. os seguintes equipamentos fazem parte da cadeia de medição:
 - um gerador de ruído rosa;
 - um circuito de ponderação adequada para a obtenção do sinal sonoro de acordo com 4.5;
 - um amplificador de potência;
 - um multímetro tipo rms verdadeiro com uma banda passante de pelo menos 40 Hz a 10 kHz;

- caixas acústicas em teste, montadas como especificado; alto-falantes (com ou sem divisor de frequências) devem ser testados sem caixa, a não ser que uma caixa seja especificada pelo fabricante.

Notas:

1 – se mais de um alto-falante e/ou caixa acústica são testados simultaneamente, deve ser tomado cuidado de assegurar que a interação entre os alto-falantes e/ou caixas acústicas não seja significativa.

2 – se um alto-falante ou caixa acústica é projetado para operar em uma faixa restrita de frequências e um circuito para a limitação de frequências não é parte integrante deste, um circuito adequado, o qual deve estar conectado durante o teste, deve ser especificado pelo fabricante. Este circuito então torna-se parte integrante do alto-falante ou caixa acústica e uma impedância nominal deve ser relacionada aos terminais de entrada deste conjunto, carregado pelo alto-falante ou caixa acústica.

3 – o diagrama na figura 5 mostra como os elementos devem ser conectados.

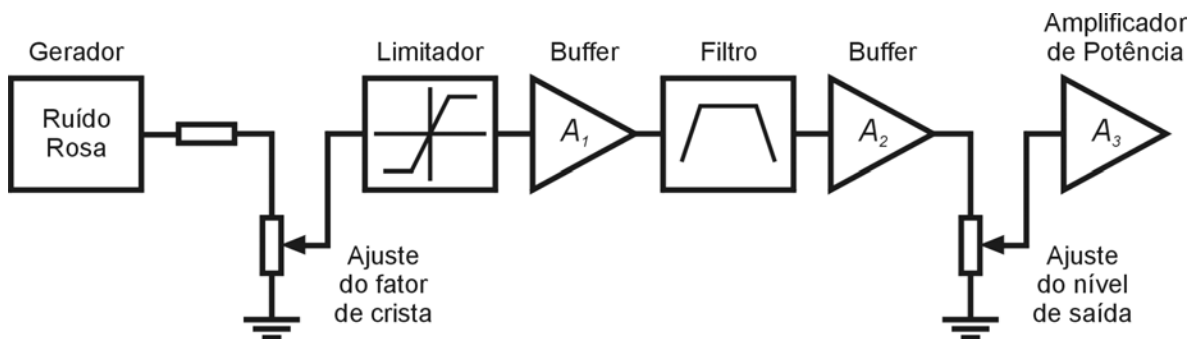


Fig. 5 - Circuito de restrição e filtragem e limitação

2. O alto-falante ou caixa acústica é colocado em uma sala de não menos que 8 m³, na qual as condições climáticas especificadas na IEC 60268-1 são respeitadas.
3. A resposta em frequência do amplificador de potência, quando medida nos terminais de entrada do alto-falante ou caixa acústica em teste, deve ser constante dentro de $\pm 0,5$ dB na faixa de frequências de 20 Hz a 20.000 Hz.
4. O sinal aplicado aos terminais do alto-falante ou caixa acústica em teste deve ser conforme especificado em 4.5, e seu fator de crista (pico / rms) deve estar entre 1,8 e 2,2. Para alto-falantes ou caixas acústicas com faixa de frequência de trabalho onde a frequência inferior é menor que 40 Hz deve-se utilizar o sinal definido em 4.5.2. Nos demais casos deve-se utilizar o sinal definido em 4.5.1.
5. O amplificador de potência deve ter uma impedância de saída menor ou igual que 1/10 da impedância nominal do sistema de alto-falantes ou caixas acústicas (ver 16.1). A potência nominal do amplificador deve ser pelo menos 2,5 vezes maior que a potência nominal do alto-falante em teste. Admite-se uma distorção harmônica total de 1 % na saída do amplificador.
6. O alto-falante ou caixa acústica deve ser testado na condição climática (temperatura, umidade e pressão atmosférica) especificada pelo fabricante por um período contínuo de 2 h a uma tensão nominal correspondente àquela que o alto-falante ou caixa acústica é projetado para suportar.
7. Imediatamente após o teste, o alto-falante ou caixa acústica deve ser armazenado em condições climáticas tais como as que normalmente existem em salas comuns. Exceto quando de outra forma especificado, o período de repouso deve ser de 24 h.

8. Um alto-falante ou caixa acústica pode ser considerado como atendendo aos requisitos deste teste, se ao final do período de repouso, não apresentar variações que ultrapassem as tolerâncias especificadas pelo fabricante nas características elétricas, mecânicas ou acústicas, comparadas àquelas declaradas no folheto. As características técnicas obtidas após o teste deverão estar disponíveis ao usuário.

18. Potência elétrica de entrada

18.1 Potência máxima de entrada de curta duração

Característica a ser especificada

Potência elétrica rms que corresponde à tensão rms máxima de entrada de curta duração (ver 17.1). Ela é definida como U_{St}^2/Z_n , onde U_{St} é a tensão máxima de entrada de curta duração e Z_n é a impedância nominal.

18.2 Potência máxima de entrada de longa duração

Característica a ser especificada

Potência elétrica rms que corresponde à tensão rms máxima de entrada de longa duração (ver 17.2). É definida como U_{lt}^2/Z_n , onde U_{lt} é a tensão máxima de entrada de longa duração e Z_n é a impedância nominal.

18.3 Potência nominal

Característica a ser especificada

Potência elétrica rms calculada a partir da fórmula: U_n^2/Z_n , quando U_n é a tensão de ruído nominal e Z_n é a impedância nominal.

19. Características em frequência

19.1 Faixa de frequências de trabalho (esta é uma condição nominal, ver 3.2.1)

Característica a ser especificada

Faixa de frequências de trabalho declarada pelo fabricante do alto-falante.

19.2 Frequência de ressonância

19.2.1 Frequência de ressonância de um alto-falante (f_s) ao ar livre ou em um baffle.

Característica a ser especificada

Frequência na qual o módulo da impedância elétrica tem seu primeiro máximo principal em uma escala de frequências ascendente. O ambiente acústico (campo livre ou meio espaço em campo livre) e as condições de instalação, devem ser declarados juntamente com o valor desta frequência.

Nota – Os alto-falantes ou caixas acústicas podem ser montados conforme 10.1.

19.2.2 Frequência de ressonância de um sistema caixa fechada (f_c)

Característica a ser especificada

Frequência na qual a curva de impedância tem seu primeiro máximo em uma escala de frequências ascendente.

Nota: caso sejam utilizados divisores de frequências passivos, estes devem ser desconectados durante a medição, de modo a se obter os valores relativos ao comportamento do sistema acústico.

19.3 *Frequência de sintonia de um sistema refletor de graves ou radiador passivo*

Característica a ser especificada

Frequência na qual o módulo da impedância apresenta seu primeiro mínimo principal, após o primeiro máximo principal em uma escala de frequências ascendente.

Nota: caso sejam utilizados divisores de frequências passivos, estes devem ser desconectados durante a medição, de modo a se obter os valores relativos ao comportamento do sistema **acústico**.

20. Pressão sonora em condição de campo livre e em condição de meio espaço em campo livre

20.1 *Pressão sonora em uma determinada banda de frequências*

20.1.1 *Característica a ser especificada*

Pressão sonora produzida, a uma distância declarada do ponto de referência, no eixo de referência, quando o alto-falante ou caixa acústica é alimentado por um sinal de ruído rosa em uma faixa de frequências declarada, a uma tensão especificada.

20.1.2 *Método de medição*

1. O alto-falante ou caixa acústica é submetido a condições normais de medição em um campo livre ou em um meio espaço em campo livre. O meio espaço em campo livre só se aplica a transdutores montados rente à superfície refletora.
2. Os seguintes equipamentos são utilizados na cadeia de medição:
 - o alto-falante ou caixa acústica em teste,
 - um gerador de ruído rosa,
 - um filtro passa banda com uma taxa de atenuação mínima de 24 dB/oitava limitando a banda de frequências do sinal aplicado ao alto-falante.

Nos casos onde um filtro com uma faixa de frequências igual àquela declarada não é disponível, uma aproximação pode ser feita, dividindo esta faixa de frequências em n bandas de 1/3 de oitava (ver IEC 61260), sendo os filtros de oitava alimentados com o sinal de ruído rosa. Então a tensão de alimentação do alto-falante ou caixa acústica em teste deve ser igual a U_p/n em cada banda de frequência de 1/3 de oitava.

3. O alto-falante ou caixa acústica é alimentado por um sinal de ruído rosa com uma tensão U_p e na largura de banda declarada.
4. A pressão sonora é medida a uma distância declarada.

Se for usado um filtro de banda de 1/3 de oitava então a pressão sonora é dada pela fórmula:

$$p_r = \left[\sum_{i=1}^{i=n} (p_i)^2 \right]^{1/2}$$

onde p_i é a pressão sonora na i -ésima banda de 1/3 de oitava.

5. As condições de medição devem ser declaradas com os resultados

20.2 *Nível de pressão sonora em uma determinada banda de freqüências*

Característica a ser especificada

Nível de pressão sonora em uma determinada banda de freqüências que corresponde a vinte vezes o logaritmo do quociente entre a pressão sonora (ver 20.1.1) medida e a pressão sonora de referência (20 μ Pa), expresso em decibels.

20.3 *Sensibilidade característica em uma determinada banda de freqüências*

20.3.1 *Característica a ser especificada*

Pressão sonora em uma faixa de freqüências declarada (ver 20.1.1), correspondente a uma potência de entrada de 1 W e a uma distância de 1 m no eixo de referência.

20.3.2 *Método de medição*

As medições devem ser realizadas conforme especificado em 20.1.2, porém aplicando-se uma tensão U_p correspondente a uma potência de 1 W. U_p é numericamente igual a $\sqrt{Z_n}$, onde Z_n é a impedância nominal.

20.4 *Nível de sensibilidade característica em uma determinada banda de freqüências*

Característica a ser especificada

Nível de sensibilidade que corresponde a vinte vezes o logaritmo do quociente entre a sensibilidade característica determinada e a pressão sonora de referência (20 μ Pa), expresso em decibels.

20.5 *Pressão sonora média em uma determinada banda de freqüências*

20.5.1 *Característica a ser especificada*

Pressão sonora que corresponde a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados das pressões sonoras de todas as bandas de 1/3 de oitava na faixa de freqüências declarada.

20.5.2 *Método de medição*

As medições devem ser realizadas conforme especificado em 20.1.2. A pressão sonora média em uma faixa de freqüências declarada é determinada pela fórmula:

$$p_m = \frac{p_r}{\sqrt{n}}$$

Nota. para a definição de p_r , ver 20.1.2.

20.6 *Nível de pressão sonora média em uma determinada banda de freqüências*

Característica a ser especificada

Nível de pressão sonora que corresponde a vinte vezes o logaritmo do quociente entre p_m (ver 20.5.2) determinado e a pressão sonora de referência (20 μPa), expresso em decibels.

21. Resposta em condição de campo livre e em condição de meio espaço em campo livre

21.1 Resposta em frequência

21.1.1 Característica a ser especificada

Nível de pressão sonora como uma função da frequência, medido em condição de campo livre ou meio espaço em campo livre, em uma posição declarada com relação ao eixo e ao ponto de referência, com uma tensão constante especificada, com um sinal senoidal, ou com ruído rosa filtrado em bandas ou com outro sinal adequado, **devendo este ser declarado pelo fabricante.**

21.1.2 Método de medição

1. O alto-falante ou caixa acústica é submetido a condições normais de medição em uma instalação de campo livre ou de meio espaço em campo livre.
2. Um ruído rosa filtrado em bandas ou um sinal senoidal, ambos com tensão média constante, é aplicado ao alto-falante.
3. As medições deverão cobrir pelo menos a faixa efetiva de frequências (ver 21.2). Medições com ruído rosa filtrado em bandas podem ser realizadas de duas formas:
 - a) alimentando o alto-falante ou caixa acústica com um ruído rosa (limitado à faixa efetiva de frequências do alto-falante) e analisando-se o sinal de saída do microfone por meio de filtros de 1/3 de oitava; ou
 - b) alimentando o alto-falante ou caixa acústica com um ruído de banda estreita, conforme 4.3.

Nota: se o segundo método é adotado, não são necessários filtros na cadeia de microfone, não havendo contudo restrição ao seu uso.

4. Os resultados devem ser apresentados em um gráfico como função da frequência. Devem ser declarados: a condição espacial, o tipo de **sinal** e o(s) filtro(s) eventualmente utilizados.

Para maior clareza, a escala de nível de pressão sonora não deve ultrapassar uma faixa de 60 dB de variação.

21.1.3 Correções de medição em baixas frequências

Quando a característica de absorção em baixa frequência da câmara anecóica causa uma divergência da condição de campo livre, de forma que medições precisas da resposta em campo livre não são possíveis até o mais baixo limite da faixa efetiva de frequências (ver 21.2), os resultados de medição em baixas frequências podem ser corrigidos como segue:

- a) O alto-falante ou caixa acústica em teste é removido da câmara e substituído por um alto-falante ou caixa acústica de referência calibrado e posicionado de forma que seu ponto de referência e eixo de referência coincidam com as posições anteriormente ocupadas pelo ponto e pelo eixo de referência do alto-falante ou caixa acústica em teste.

O alto-falante ou caixa acústica de referência deverá substancialmente ter as mesmas

características direcionais que o alto-falante ou caixa acústica em teste, na faixa de frequências onde a correção é necessária, e sua resposta em frequência calibrada em condições de campo livre deve **chegar** à mais baixa frequência de interesse.

É necessário determinar a resposta em frequência do alto-falante ou caixa acústica de referência com exatidão. Para alto-falantes ou caixas acústicas de referência, as medições podem ser realizadas em uma câmara anecóica cuja menor dimensão seja maior que meio comprimento de onda da mais baixa frequência de interesse.

Nota: para a medição da resposta em baixas frequências de um sistema de múltiplos alto-falantes, o ponto de referência é idealmente o ponto de referência da unidade de graves.

b) A resposta em frequência do alto-falante ou caixa acústica de referência é medida utilizando-se o mesmo equipamento e a mesma técnica que para o alto-falante ou caixa acústica em teste (ver 21.1.2).

c) Na faixa de baixas frequências, onde a resposta em frequência assim medida para o alto-falante ou caixa acústica de referência diverge de sua resposta calibrada em campo livre conhecida, a diferença entre as respostas calibrada e medida é utilizada para corrigir a resposta medida do alto-falante ou caixa acústica em teste.

21.2 *Faixa efetiva de frequências*

21.2.1 *Característica a ser especificada*

Faixa de frequências, com limites superiores e inferiores declarados, para a qual a resposta em frequência do alto-falante ou caixa acústica (ver 23.1.2) medida no eixo de referência, não caia mais que 10 dB em relação ao nível médio da pressão sonora. O nível médio de pressão sonora deve ser calculado em uma banda de frequências de uma oitava, na região de sensibilidade máxima, ou uma banda mais larga declarada pelo fabricante. Um vale abrupto na curva de resposta, mais estreito que 1/9 de oitava (um terço de 1/3 de oitava) a um nível de até - 10 dB deve ser desprezado na determinação dos limites de frequência. O equipamento de medição deverá possuir uma resolução melhor que 1/12 de oitava.

21.2.2 *Método de medição*

A faixa efetiva de frequências pode ser obtida da resposta em frequência definida em 21.1.1.

21.3 *Função de transferência*

21.3.1 *Característica a ser especificada*

Amplitude e fase da pressão sonora, em função da frequência, medidas em condição de campo livre ou de campo livre simulado, em uma posição declarada com respeito ao eixo e ao ponto de referência, para uma tensão constante especificada, aplicada aos terminais do alto-falante. A menos que declarado em contrário, esta tensão deve ser 1 V (ver cláusula 5 em 21.3.2.1).

O nível do sinal aplicado deve assegurar que o resultado de medição não venha a ser afetado por não linearidades.

A amplitude da pressão sonora normalmente é expressa como o nível equivalente de pressão sonora. Na representação da fase como função da frequência, deslocamentos de fase relacionados a atrasos entre a resposta do alto-falante ou caixa acústica e o sinal captado pelo microfone devem ser removidos. (Ver cláusula 6 em 21.3.2.1.)

21.3.2 *Método de medição*

21.3.2.1 Medição com sinais Impulsivos em condição de campo livre simulado

1. O alto-falante ou caixa acústica é submetido a condições normais de medição, em um ambiente de campo livre simulado.
2. Um sinal de teste impulsivo, com largura de banda espectral pelo menos tão grande quanto a faixa de frequências de interesse, é aplicado ao alto-falante. A fim de alcançar uma relação sinal/ruído adequada, o sinal de teste pode ser repetido, com um intervalo de tempo suficiente para que o nível sonoro devido à reverberação decresça a um valor desprezível. O resultado final será a média entre as diversas medições.

A fim de minimizar o tempo de medição necessário, uma equalização espectral (pré-ênfase), pode ser aplicada ao sinal de teste e correções complementares (de-ênfase) à pressão sonora medida.

3. A pressão sonora deve ser medida nas condições especificadas nas cláusulas 1 e 2 anteriores, e os resultados expressos como função da frequência. Isto normalmente é obtido pela amostragem e digitalização do sinal, aplicando-se a *Transformada de Fourier* com um analisador apropriado. O método de transformação do sinal medido no domínio da frequência não deverá introduzir erros que excedam 0,1 dB no resultado do nível de pressão sonora calculado na faixa de frequências.
4. A tensão aplicada aos terminais do alto-falante ou caixa acústica deve ser medida através de um atenuador de resposta plana calibrado e do microfone de medição, com quaisquer elementos de pré-ênfase e de-ênfase incluídos, e os resultados expressos como função da frequência conforme a cláusula 3.
5. A função de transferência do alto-falante ou caixa acústica será o resultado da medição de acordo com a cláusula 3 dividido pelo resultado da medição de acordo com a cláusula 4, consideradas a sensibilidade do microfone e a calibração do atenuador. Isto normalmente é representado como um gráfico da magnitude e da fase como função da frequência, com a magnitude expressa como o nível equivalente de pressão sonora para uma potência de entrada de 1 W.
6. Erros de amplitude acumulados de todas as fontes (ambiente, ruído, não linearidades residuais, calibração, truncamento e processamento de sinal) não deverão exceder a 1 dB na função de transferência representada.

22. Potência acústica

22.1 Potência acústica em uma banda de frequências

22.1.1 Característica a ser especificada

Potência sonora total radiada pelo alto-falante, em uma dada banda de frequências com frequência central f , para um sinal de entrada definido.

22.1.2 Método de medição

1. O alto-falante ou caixa acústica é submetido à condição de campo livre **ou** de meio espaço em campo livre.
2. Os resultados devem ser apresentados graficamente como função da frequência.

22.1.2.1 Medições de potência acústica em condição de campo livre ou de meio espaço em campo livre

1. A média do quadrado do valor rms da pressão sonora é calculada:
 - a) sobre uma esfera hipotética, no caso de condição de campo livre;
 - b) sobre um hemisfério hipotético (ver ISO 3744 / 3745), no caso de condição de meio espaço em campo livre.
2. Se o sistema tem simetria axial de revolução, medições em um plano contendo este eixo podem se mostrar suficientes, desde que as medições sejam adequadamente ponderadas no processo de cálculo da média.
3. Quando I é a intensidade sonora;
 - S é a superfície de uma esfera hipotética de raio r ;
 - $P_a(f)$ é uma potência acústica, em watts;
 - r é o raio da esfera, em metros;
 - $p(f)$ é a pressão sonora média calculada sobre uma esfera, em pascal;
 - ρ_0 é a densidade do ar, em Kg/m^3 ;
 - c é a velocidade do som no ar, em m/s .

a potência acústica em condição de campo livre pode ser obtida a partir do seguinte equacionamento:

$$\text{Considerando que } I = \frac{P_a(f)}{S} \Rightarrow P_a(f) = I \cdot S \quad (\text{ISO 3745})$$

$$\text{Considerando ainda que } \frac{I}{I_0} = \left(\frac{p(f)}{p_0} \right)^2 \text{ ou } I = \left(\frac{p(f)}{p_0} \right)^2 \cdot I_0 \text{ e que } I_0 = 10^{-12} \text{ (W/m}^2\text{), } p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{) e}$$

$$S = 4\pi r^2 \text{ (m}^2\text{) vem:}$$

$$P_a(f) = \frac{[p(f)]^2}{\rho_0^2} \cdot I_0 \cdot S = [p(f)]^2 r^2 \frac{4\pi \cdot 10^{-12}}{4 \cdot 10^{-10}} \text{ ou, simplesmente,}$$

$$P_a(f) = 0,031 [p(f)]^2 r^2 \text{ (W)}$$

De forma análoga, a potência acústica em condição de meio espaço em campo livre pode ser determinada pela fórmula:

$$P_a(f) = \frac{2\pi r^2}{\rho_0 c} p^2(f) = 0,016 r^2 p^2(f)$$

22.2 Potência acústica média em uma banda de frequências

22.2.1 Característica a ser especificada

A média aritmética da potência acústica, em todas as bandas de frequência de 1/3 de oitava na faixa de frequências considerada.

22.2.2 Método de medição

1. A medição deve ser feita conforme 22.1.2.
2. A potência acústica média é calculada como a média aritmética da potência acústica medida individualmente para todas as bandas de frequências de 1/3 de oitava, incluídas na faixa de frequências considerada.

22.3 Eficiência em uma banda de frequências

22.3.1 Característica a ser especificada

Razão entre a potência acústica radiada por um alto-falante ou caixa acústica e a potência elétrica fornecida em uma banda de frequências com frequência central f .

22.3.2 Método de medição

1. A medição deve ser feita conforme 22.1.2.
2. A potência elétrica é determinada conforme 3.2.2.
3. A eficiência em uma banda de frequências é dada pela razão entre a potência acústica e a potência elétrica.

22.4 Eficiência média em uma faixa de frequências

22.4.1 Característica a ser especificada

Média aritmética da eficiência em todas as bandas de frequências de 1/3 de oitava na faixa de frequências considerada.

22.4.2 Método de medição

1. A eficiência na faixa de frequências é determinada conforme 22.3.2.
2. A eficiência média é calculada como a média aritmética das eficiências medidas em cada uma das bandas de frequências de 1/3 de oitava que cobrem a faixa de frequências de interesse.

23. Características direcionais

23.1 Diagrama de resposta direcional

23.1.1 Característica a ser especificada

Nível de pressão sonora como uma função do ângulo entre o eixo de medição, o eixo de referência e da frequência do som radiado, medido em condição de campo livre em um plano especificado. O eixo de medição é a linha que une o microfone ao ponto de referência.

23.1.2 Método de medição

1. O alto-falante ou caixa acústica é submetido a condições normais de medição em um ambiente de campo livre.
2. O microfone de medição é posicionado em um plano específico que contém o eixo de referência, a uma distância especificada do ponto de referência.

3. Um sinal senoidal ou de ruído de banda, conforme necessário, deve ser aplicado ao alto-falante. A tensão de entrada é ajustada para cada frequência ou banda de forma que a pressão sonora em um ponto especificado no eixo de referência seja mantida constante.
4. Para representar a resposta direcional um dos modos seguintes deve ser escolhido:
 - a) uma família de curvas de respostas polares em bandas de frequências, de preferência em bandas de 1/3 de oitava ou uma oitava na faixa nominal de frequências, centradas nas frequências preferenciais contidas na ISO 266. Recomenda-se o uso de um dispositivo que dê uma variação contínua na posição angular;
 - b) Uma família de curvas de resposta em frequência em vários ângulos do eixo de referência. Ângulos a intervalos de 15°, **ou menores**, são recomendados.
5. Os resultados da medição devem ser traçados como curvas polares de acordo com as IEC 60268-1 e IEC 60263. É preciso grande cuidado para assegurar que lóbulos **significativos** sejam adequadamente explorados. Na apresentação dos resultados, a orientação dos eixos de medição com respeito ao eixo de referência deve ser declarada. Se um método de ponto a ponto é utilizado, o gráfico deve mostrar claramente os ângulos usados.

Nota: devem ser tomados cuidados para que o nível no eixo de referência do alto-falante ou caixa acústica corresponda ao nível zero do diagrama polar.

23.2 Ângulo de radiação

23.2.1 Característica a ser especificada

Ângulo, medido em relação ao eixo de referência, em um ponto do plano que contém este eixo, onde o nível de pressão sonora cai 10 dB em relação ao valor do nível de pressão sonora medido no eixo de referência. A faixa de frequências na qual este requisito é satisfeito deve ser declarada.

23.2.2 Método de medição

1. O ângulo de radiação é deduzido do diagrama de resposta direcional na faixa de frequências nominal, medido de acordo com 23.1.2.4a.
2. O ângulo de radiação pode ser traçado em um gráfico apresentando a frequência no eixo das abscissas e os ângulos no eixo das ordenadas.
3. Se a resposta direcional do alto-falante ou caixa acústica não tem simetria cilíndrica, o valor deve ser dado em dois planos ortogonais.

23.3 Índice de diretividade

23.3.1 Característica a ser especificada

Razão, expressa em decibels, entre a intensidade sonora medida em um ponto selecionado no eixo de referência e a intensidade sonora radiada por uma fonte pontual que emite a mesma potência acústica que o transdutor em teste produziria no mesmo ponto, em condição de campo livre.

23.3.2 Método de medição

O índice de diretividade D_i pode ser determinado pela seguinte equação:

$$D_i = 10 \log \frac{s_o}{s_m} = 20 \log(p_o) - 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i^2 \right)$$

onde:

s_o é o quadrado da pressão sonora, obtida a partir dos níveis de pressão sonora das curvas polares de acordo com 23.1.2.4a, sobre o eixo de referência;

s_m é o valor médio dos quadrados das pressões sonoras, obtidas a partir dos níveis de pressão sonora das curvas polares de acordo com 23.1.2.4a e integrados sobre uma esfera, utilizando-se um dos métodos fornecidos em 22.1.2.1 e 22.1.2.2.

23.4 Ângulo de cobertura

23.4.1 Característica a ser especificada

Ângulo formado entre os dois eixos que ligam o ponto de referência aos pontos do lóbulo principal do diagrama de resposta direcional (ver 23.1) nos quais o nível de pressão sonora é 6 dB menor que o nível de pressão sonora máximo do lóbulo principal.

Para alto-falantes e caixas acústicas projetados para diferentes ângulos de cobertura em diversos planos que contenham o eixo de referência, devem ser especificados ângulos de cobertura em pelo menos dois planos ortogonais (ver 23.2.2, cláusula 3).

23.4.2 Método de medição

1) O ângulo de cobertura é deduzido do diagrama de resposta direcional medido com ruído rosa filtrado em uma banda de oitava, centrada na maior frequência preferencial de bandas de oitava (ver ISO 266) contida na faixa efetiva de frequências.

O ângulo de cobertura pode adicionalmente ser especificado para outras frequências centrais de bandas de oitavas.

A(s) frequência(s) central(is) usada(s) para as medições deve(m) ser apresentada(s) com os dados medidos.

2) Os valores podem ser apresentados como tabelas ou como gráficos.

23.4.3 Relação entre o ângulo de cobertura e o índice de diretividade

Uma relação aproximada entre os ângulos de cobertura e o índice de diretividade na mesma banda de oitava é dada por:

$$D_i = 10 \log \left\{ \frac{180}{\arcsen \left[\sen \left(\frac{A}{2} \right) \cdot \sen \left(\frac{B}{2} \right) \right]} \right\}$$

onde A e B são os ângulos de cobertura, em graus, em dois planos ortogonais.

24. Não linearidade de amplitude

24.1 Introdução

Uma explanação geral sobre a não linearidade de amplitude pode ser encontrada na IEC 60268-2.

As características a serem especificadas e os métodos de medição de vários tipos de não linearidades de amplitude de importância para alto-falantes ou caixas acústicas são encontradas nas Seções seguintes. Os sinais de teste utilizados para as medições de não linearidade de amplitude devem restringir-se à faixa de frequências de trabalho.

24.2 Distorção harmônica total

24.2.1 Característica a ser especificada

Distorção harmônica total, expressa em termos da pressão sonora total, p_t .

24.2.2 Método de medição para tensões de entrada até a tensão senoidal nominal

1. Caixas acústicas são submetidas à condição de campo livre e alto-falantes à condição de meio espaço em campo livre.

Uma série de tensões senoidais é aplicada ao alto-falante. As tensões escolhidas são aquelas que são as mais pertinentes ao uso pretendido e devem incluir, mas não exceder, a tensão senoidal nominal (ver 17.3). A faixa de frequências é coberta melhor por meio de uma varredura ao invés de um método passo a passo, que pode levar à perda de informações importantes.

2. Um microfone de medição é posicionado a 1 m do ponto de referência e sobre o eixo de referência, a menos que seja especificado em contrário.

3. Um analisador FFT, precedido, se necessário, por um filtro passa-alta, o qual suprime a fundamental, é conectado ao microfone de medição.

4. É medida a pressão sonora de cada um dos harmônicos, p_{nf} , na faixa de 20 Hz a 20 kHz. O medidor deve indicar o valor rms verdadeiro do harmônico.

5. É medida a pressão sonora total, p_t , incluindo a fundamental, na faixa de 20 Hz a 20 kHz por um medidor de banda larga conectado ao microfone.

6. A distorção harmônica total pode ser determinada pela fórmula:

$$\text{em percentual: } d_t = \frac{\sqrt{p_{2f}^2 + p_{3f}^2 + \dots + p_{nf}^2}}{p_t} \times 100 \quad \text{em decibels: } L_{dt} = 20 \log \frac{d_t}{100}$$

7. Os resultados de medição são apresentados graficamente como função da frequência fundamental. Os valores de distorção são expressos em dB quando o método de varredura é usado e serão expressos em porcentagem quando for utilizado o método passo a passo. Juntamente com os resultados, as seguintes informações devem ser fornecidas:

- a tensão de entrada e o nível de pressão sonora referenciado a 1 m;
- qualquer frequência discreta usada;
- a distância do microfone de medição do ponto de referência se esta difere de 1 m;
- as condições de medição (campo livre ou meio espaço em campo livre).

24.2.3 Método de medição para tensões de entrada maiores que a tensão senoidal nominal

1. Caixas acústicas ou sistemas de caixas acústicas são submetidos à condição de campo livre. Alto-falantes são submetidos à condição de meio espaço em campo livre.

Uma série de tensões e freqüências crescentes de um trem tonal (*tone burst*) é aplicada ao alto-falante ou caixa acústica. Cada trem tonal deve ter duração suficiente para que uma resposta estável do sistema seja alcançada. A amplitude máxima não deve ser maior que a tensão máxima de entrada de curta duração (ver 17.1). A faixa de freqüências é coberta por um método passo-a-passo.

2. Um microfone de medição é posicionado a 1 m de distância do ponto de referência e sobre o eixo de referência, a menos que especificado em contrário.
3. Um sistema de processamento de amostras é usado para amostrar a resposta ao trem tonal, captada pelo microfone de medição. A freqüência de amostragem deve ser suficientemente alta para habilitar o mais alto harmônico de interesse. Para eliminar os erros de *zero-crossing*, os tempos de amostragem devem ser coincidentes com os *zero-crossing* do sinal do trem tonal, ou os sinais de microfone devem ser janelados (uma janela *Hanning* é normalmente satisfatória). O sistema calcula o espectro dos dados de um ou mais ciclos para obter a fundamental, p_t , e os harmônicos separados, p_{nf} .
4. A distorção harmônica total para tensões de entrada maiores que a tensão senoidal nominal deve ser determinada pela fórmula contida na cláusula 6 da seção 24.2.2.
5. As componentes de distorção harmônica de segunda e terceira ordens, devidas às tensões de entrada maiores que a tensão de entrada senoidal nominal devem ser determinadas pela fórmula contida na cláusula 6 da seção 24.3.2.
6. Os seguintes dados devem ser fornecidos com os resultados da medição:
 - tensão de entrada e nível de pressão sonora referenciado a 1 m;
 - freqüências discretas nas quais foram feitas as medições;
 - distância do microfone de medição ao ponto de referência, se esta difere de 1 m;
 - condições de medição (campo livre ou meio espaço em campo livre).

24.3 Distorção harmônica de *n*-ésima ordem

24.3.1 Característica a ser especificada

Distorção harmônica de ordem n , expressa em termos da pressão sonora total, p_t .

24.3.2 Método de medição para tensões de entrada menores ou igual à tensão senoidal nominal

1. Caixas acústicas ou sistemas de caixas acústicas são submetidos à condição de campo livre e alto-falantes à condição de meio espaço em campo livre.

Uma série de tensões senoidais é aplicada ao alto-falante, caixa acústica ou sistemas de caixas acústicas. As tensões escolhidas são aquelas que são as mais pertinentes ao uso pretendido e devem incluir, mas não exceder, a tensão senoidal nominal (ver 17.3). A faixa de freqüências é melhor coberta por meio de uma varredura ao invés de um método passo a passo, que pode levar à perda de informações importantes.

2. Um microfone de medição é posicionado a 1 m do ponto de referência e sobre o eixo de referência, a menos que especificado em contrário.
3. Um analisador FFT, precedido, se necessário, por um filtro passa-alta, o qual suprime a fundamental, é conectado ao microfone de medição.
4. A pressão sonora dos harmônicos separados, p_{nf} , é medida.

5. A pressão sonora total é medida, incluindo a fundamental, p_t , na faixa de 20 Hz a 20 kHz por um medidor de banda larga conectado ao microfone.
6. A distorção harmônica de 2ª ordem ($n=2$) pode ser determinada pela fórmula:

$$\text{em percentual: } d_2 = \frac{p_{2f}}{p_t} \times 100 \quad \text{em decibels: } L_{d_2} = 20 \log\left(\frac{d_2}{100}\right)$$

A distorção harmônica de 3ª ordem ($n=3$) pode ser determinada pela fórmula:

$$\text{em percentual: } d_3 = \frac{p_{3f}}{p_t} \times 100 \quad \text{em decibels: } L_{d_3} = 20 \log\left(\frac{d_3}{100}\right)$$

7. Os resultados de medição são apresentados graficamente como função da frequência fundamental. Os valores de distorção são expressos em dB quando o método de varredura é usado e serão expressos em porcentagem quando for utilizado o método passo a passo. Juntamente com os resultados, as seguintes informações devem ser fornecidas:

- a tensão de entrada e o nível de pressão sonora referenciado a 1 m;
- qualquer frequência discreta usada;
- a distância do microfone de medição ao ponto de referência, se esta difere de 1 m;
- as condições de medição (campo livre ou meio espaço em campo livre).

24.4 Distorção harmônica característica

24.4.1 Característica a ser especificada

Distorção harmônica total expressa em termos da pressão sonora média em uma faixa de frequências declarada.

24.4.2 Método de medição

O método é semelhante ao apresentado em 24.2.2. No entanto, a pressão sonora total, p_t , é substituída pela pressão sonora média, p_m , determinada conforme 20.5.2, aplicando-se ao alto-falante ou caixa acústica um sinal de ruído rosa filtrado em bandas de 1/3 de oitava, onde a tensão do sinal em cada banda de 1/3 de oitava deve ser igual à tensão do sinal usado para a medição da distorção harmônica total (ver 24.2.2). A amplitude da tensão deve ser medida com um medidor de tensão **tipo rms verdadeiro**.

24.5 Distorção total

24.5.1 Característica a ser especificada

Distorção medida com ruído rosa, expressa em termos da razão entre a raiz quadrada da soma dos quadrados das pressões sonoras rms devidas aos componentes em bandas de frequências de 1/3 de oitava com frequências centrais nf_1 (onde $n = 2, 3, \dots$) e o valor rms da pressão sonora total.

24.5.2 Método de medição

O método é semelhante ao apresentado em 24.2.2. No entanto, o sinal senoidal de entrada é substituído por um sinal de ruído rosa filtrado em bandas de 1/3 de oitava.

24.6 Distorção sonora de n -ésima ordem

24.6.1 Característica a ser especificada

Distorção de ordem n , expressa em termos da pressão sonora total, p_t

24.6.2 Método de medição

1. O alto-falante ou caixa acústica é submetido à condição de campo livre ou de meio espaço em campo livre.

As tensões rms de entrada escolhidas são as mais pertinentes para o uso pretendido e devem incluir, mas não exceder, a tensão de ruído nominal (ver 17.4). O sinal de ruído rosa é filtrado em 1/3 de oitava com frequência central f_1 e aplicado no alto-falante e o sinal do microfone é filtrado em 1/3 de oitava de frequência central $2f_1$ ou $3f_1$.

2. O microfone de medição é posicionado a 1 m do ponto de referência, sobre o eixo de referência, a menos que seja especificado em contrário.

Nota: filtros de bandas de 1/3 de oitava usados para esta medição devem possuir frequências centrais conforme listadas na IEC 61260. Estes filtros são adequados para a medição das distorções de 2ª ordem. Na medição das distorções de 3ª ordem, deve ser levado em conta que não existem filtros tendo uma frequência central 3 vezes superior a outra frequência central. Quando f_c é a frequência central da banda de alimentação do alto-falante ou caixa acústica e f'_c é a frequência central da banda utilizada para medir a distorção de 3ª ordem, o erro é como se segue:

f_c	$3f_c$	f'_c	Erro ξ %
100	300	315	5,0
125	375	400	6,7
160	480	500	4,2
200	600	630	5,0
250	750	800	6,7
315	945	1000	5,8
400	1200	1250	4,2
500	1500	1600	6,7
630	1890	2000	5,8
800	2400	2500	4,2
1000	3000	3150	5,0

O erro expresso como porcentagem é calculado por:

$$\xi = \frac{f'_c - 3f_c}{3f_c} \times 100$$

3. A pressão sonora, p_{nf} , do harmônico de frequência central nf é medida.
4. A distorção sonora de 2ª ordem ($n=2$) pode ser determinada pela fórmula:

em percentual: $d_2 = \frac{p_{2f}}{p_t} \times 100$ em decibels: $L_{d_2} = 20 \log\left(\frac{d_2}{100}\right)$

A distorção sonora de 3ª ordem ($n=3$) pode ser determinada pela fórmula:

em percentual: $d_3 = \frac{p_{3f}}{p_t} \times 100$ em decibels: $L_{d_3} = 20 \log\left(\frac{d_3}{100}\right)$

Os resultados da medição são representados graficamente, como função da frequência central da banda de frequências de 1/3 de oitava do ruído aplicado ao alto-falante ou caixa acústica em teste.

Junto aos resultados, as seguintes informações devem ser fornecidas:

- a tensão (ou potência) de entrada e as condições de medição (campo livre ou meio espaço em campo livre);
- a pressão sonora referenciada a 1 m.

24.7 *Distorção característica*

24.7.1 *Característica a ser especificada*

Distorção total expressa em termos da pressão sonora média em todas as bandas de frequências de 1/3 de oitava sobre a faixa nominal de frequências.

24.7.2 *Método de medição*

Ver 24.5.2. Todavia a pressão sonora total, p_t , é substituída pela pressão sonora média, p_m (ver 20.5).

24.8 *Distorção por modulação de n-ésima ordem*

24.8.1 *Característica a ser especificada*

A distorção por modulação de ordem n deve ser especificada como a razão entre a soma aritmética dos valores rms das pressões sonoras devidas a componentes de distorção nas frequências $f_2 \pm (n-1)f_1$ e o valor rms da pressão sonora, p_{f_2} , devido ao sinal f_2 .

f_1 e f_2 são as frequências de dois sinais de entrada cuja razão entre amplitudes é especificada, sendo a frequência f_1 consideravelmente inferior à frequência f_2 .

24.8.2 *Método de medição*

1. O alto-falante ou caixa acústica é submetido a condição de campo livre ou a condição de meio espaço em campo livre. Usualmente utilizam-se duas fontes de sinais senoidais com uma razão de amplitudes de 4:1 e com frequências f_1 e f_2 ($f_1 < f_2/8$) conectadas à entrada de um amplificador, sendo o sinal de saída uma superposição linear de f_1 e f_2 , aplicado ao alto-falante.

Nota: para o método de aplicação dos dois sinais ao amplificador, ver IEC 60268-3

2. Um microfone de medição é posicionado a 1 m do ponto de referência, sobre o eixo de referência, a menos que especificado em contrário.

3. Um analisador de sinais é conectado ao microfone de medição. Os componentes de distorção medidos são devidos tanto a distorção de modulação, quanto a efeitos Doppler. A fim de separar os dois tipos de distorção, são necessárias medições de fase. Somente os componentes de modulação das frequências $f_2 \pm f_1$ e $f_2 \pm 2f_1$ são considerados.

Medições de componentes de ordens maiores, de forma geral, não são consideradas como tendo uma contribuição importante.

4. A distorção de modulação de 2ª ordem ($n=2$) pode ser determinada pela fórmula:

$$\text{em percentual: } d_2 = \frac{p_{(f_2-f_1)} + p_{(f_2+f_1)}}{p_{f_2}} \times 100 \quad \text{em decibels: } L_{d2} = 20 \log \left(\frac{d_2}{100} \right)$$

A distorção de modulação de 3ª ordem ($n=3$) pode ser determinada pela fórmula:

em percentual: $d_3 = \frac{p_{(f_2-2f_1)} + p_{(f_2+2f_1)}}{p_{f_2}} \times 100$ em decibels: $L_{d_3} = 20 \log\left(\frac{d_3}{100}\right)$

5. Os resultados da medição são apresentados graficamente, como função da tensão, com referência ao valor rms de uma tensão senoidal com o mesmo valor pico-a-pico que o sinal de teste aplicado aos terminais do alto-falante. Junto aos resultados, as seguintes informações devem ser fornecidas:

- condições de medição (campo livre ou meio espaço em campo livre);
- as frequências f_1 e f_2 e a razão de suas amplitudes.

24.9 Distorção característica de modulação de n -ésima ordem (onde $n = 2$ ou 3)

24.9.1 Característica a ser especificada

Distorção de modulação de ordem n (onde $n=2$ ou 3) expressa em termos da pressão sonora em uma banda de frequências declarada, excluindo-se a pressão sonora para a frequência f_1 .

24.9.2 Método de medição

Ver 24.8.2. Todavia, a pressão sonora p_{f_2} , é substituída pela pressão sonora média em uma banda de frequências declarada, excluindo a frequência f_1 (ver 20. 1).

24.10 Distorção de diferença de frequências

24.10.1 Característica a ser especificada

O valor rms da pressão sonora total, radiada pelo alto-falante ou caixa acústica excitado na frequência $(f_2 - f_1)$, onde f_1 e f_2 são as frequências de dois sinais senoidais de entrada de mesma amplitude. Usualmente utiliza-se $f_2 - f_1 = 80$ Hz.

Notas:

- 1 f_2 é maior que f_1
- 2 um valor mínimo recomendado para f_1 é duas vezes $(f_2 - f_1)$, desde que este valor esteja dentro da faixa nominal do alto-falante.

24.10.2 Método de medição

1. O alto-falante ou caixa acústica é submetido à condição de campo livre ou condição de meio espaço em campo livre. Duas fontes de sinais senoidais com amplitudes iguais e com frequências f_1 e f_2 são conectadas à entrada de um amplificador e o sinal de saída, uma superposição linear de f_1 e f_2 , é aplicado ao alto-falante.

Nota: para o método de aplicação dos dois sinais ao amplificador, ver IEC 60268-3

2. Um microfone de medição é posicionado a 1 m do ponto de referência, sobre o eixo de referência, a menos que especificado em contrário.
3. Um filtro passa-banda estreita, ajustado para a frequência central f_c que é igual a $(f_2 - f_1)$, é conectado na saída do microfone de medição e o valor rms do componente de frequência f_c é medido
4. A distorção de 2ª ordem ($n=2$) da diferença de frequências deve ser determinada pela fórmula:

- como percentual: $d = \frac{p_{(f_2-f_1)}}{p_{f_1} + p_{f_2}} \times 100$ onde p_{f_i} é a pressão sonora na frequência f_i

- em decibels: $L_d = 20 \log \left(\frac{d}{100} \right)$

5) Os resultados de medição são apresentados graficamente, como função de uma tensão de referência e frequência:

$$\frac{f_1 + f_2}{2}$$

As condições de medição (campo livre ou meio espaço em campo livre) devem ser declaradas junto aos resultados.

25. Condições ambientais nominais

25.1 Faixa limite de temperaturas

25.1.1 Faixa limite de temperaturas para assegurar o desempenho

Característica a ser especificada

Faixa de temperaturas na qual as variações das características do alto-falante ou caixa acústica não devem exceder as tolerâncias especificadas.

25.1.2 Faixa limite de temperaturas para evitar danos

Característica a ser especificada

Faixa de temperaturas que, se excedida durante a operação ou armazenamento, pode resultar em mudanças permanentes nas características funcionais do alto-falante.

25.2 Faixa limite de umidade

25.2.1 Faixa limite de umidade relativa

Característica a ser especificada

Faixa de umidade relativa na qual as variações das características do alto-falante ou caixa acústica não devem exceder as tolerâncias especificadas.

25.2.2 Faixa limite de umidade relativa para evitar danos

Característica a ser especificada

Faixa de umidade relativa a qual, se excedida durante a operação ou armazenamento, pode resultar em mudanças permanentes nas características funcionais do alto-falante.

26. Campo de interferência por espalhamento

26.1 Característica a ser especificada

Campo magnético de interferências por espalhamento, gerado pelo alto-falante a uma distância declarada de seu gabinete ou de qualquer parte associada ao alto-falante.

Nota. - as vezes é necessário conhecer o campo magnético gerado pelo alto-falante a fim de evitar interferência com outros elementos.

26.2 *Método de medição*

O campo magnético de interferências por espalhamento consiste de duas partes, uma componente estática e uma componente alternada, que são determinadas como segue:

- a) a componente estática é medida por meio de um medidor de fluxo apropriado;
- b) a componente alternada é medida por meio de uma bobina de varredura apropriada (ver IEC 60268-1).

Nota: a componente alternada é normalmente insignificante para alto-falantes que empregam imãs permanentes, mas significativa para alto-falantes que empregam eletroímãs.

27. **Características físicas**

27.1 *Dimensões*

Carcaça externa e as dimensões da montagem do alto-falante (ver NBR 5102, NBR 5103, NBR 5104 e NBR 5105 – Diâmetros externos e dimensões de montagem para alto-falantes circulares e elípticos).

27.2 *Peso*

Peso do alto-falante em condições de uso.

27.3 *Conexões de cabos*

Conexões de cabos e conectores devem estar em conformidade com as Normas NBR 6051, IEC 60268-11 ou IEC 60268-12.

Nota: em certas condições de uso, os conectores normalizados podem não ser apropriados, sendo necessário o uso de outros tipos.

28. **Dados de projeto**

Outros dados de projeto podem ser fornecidos como informações adicionais, tais como:

- fluxo magnético total no entreferro;
- densidade de fluxo magnético no entreferro;
- resistência de corrente contínua da bobina móvel;
- diâmetro da bobina móvel
- número de espiras da bobina móvel;
- peso, material e tipo do imã.

29. **Classificação das características a serem declaradas**

Dados que devem ser fornecidos pelo fabricante são indicados por um "X" na Tabela I. Dados recomendáveis são indicados pela letra "R". As colunas da Tabela I possuem as seguintes legendas:

A = Dados que devem ser etiquetados no alto-falante ou caixa acústica (ou na placa de especificações);

B = Dados que devem ser especificados em um documento disponível ao usuário antes da compra do alto-falante ou caixa acústica (na embalagem ou no folheto técnico);

C = Dados adicionais que podem ser fornecidos.

Todos os valores constantes da Tabela I são nominais.

Tabela I - Características a serem declaradas e classificação

Seções	A	B	C
13. Descrição de tipo			
13.1 Alto-falantes			
13.1.1 Princípio de funcionamento		X	
13.1.2 Tipo		X	
13.2 Caixas acústicas			
13.2.1 Princípio de funcionamento		X	
13.2.2 Tipo		X	
14. Identificação dos terminais e controles	X		
15. Plano de referência, ponto de referência e eixo de referência			
15.1 Plano de referência			R
15.2 Ponto de referência			R
15.3 Eixo de referência			R
16. Impedância e características derivadas			
16.1 Impedância nominal	X	X	
16.2 Curva de impedância			R
16.3 Fator Q total (Q_{ts} ou Q_{tc})		X	
16.4 Volume equivalente à compliância do alto-falante (V_{as})		X	
17. Tensão de entrada			
17.1 Tensão máxima de entrada de curta duração			R
17.2 Tensão máxima de entrada de longa duração			R
17.3 Tensão senoidal nominal			R
17.4 Tensão de ruído nominal			R
18. Potência elétrica de entrada			
18.3 Potência nominal	X	X	
19. Características em freqüência			
19.1 Faixa de freqüências de trabalho		X	
19.2 Freqüência de ressonância		X	
19.3 Freqüência de sintonia de um refletor de graves ou radiador passivo			R
20. Pressão sonora em condições de campo livre e em condições de meio espaço em campo livre			
20.6 Nível de pressão sonora médio em uma determinada banda de freqüências		X	
21. Resposta em condições de campo livre e em condição de meio espaço em campo livre			
21.1 Resposta em freqüência		X	
21.2 Faixa efetiva de freqüências		X	
21.3 Função de transferência			R
22. Potência acústica			
22.4 Eficiência média em uma faixa de freqüências			R
23. Características direcionais			
23.1 Diagrama de resposta direcional			R
23.2 Ângulo de radiação			R
23.3 Índice de diretividade			R

23.4 Ângulo de cobertura			R
24. Não linearidade da amplitude			
24.2 Distorção harmônica total			R
24.5 Distorção total			R
24.8 Distorção por modulação			R
24.10 Distorção de diferença de frequências			R
25. Condições ambientais nominais			
25.1.1 Faixa limite de temperaturas para assegurar o desempenho			R
25.1.2 Faixa limite de temperaturas para evitar danos			R
25.2.1 Faixa limite de umidade relativa			R
25.2.2 Faixa limite de umidade relativa para evitar danos			R
26. Campo de interferência por espalhamento			R
27. Características físicas			
27.1 Dimensões			R
27.2 Peso		X	
27.3 Conexões de cabos			R
28. Dados de projeto			R

Anexo A (informativo)

Bibliografia

B. N. Locanthi , Application of Electric Circuits Analogies to Loudspeaker Design Problems - Journal of the Audio Engineering Society, vol. 19 , out. 1971 .

Richard H. Small, Vented-Box Loudspeaker Systems Part II: Large Signal Analysis - AES Loudspeakers Anthology, vol. 1 a vol. 25 , 1953 a 1977

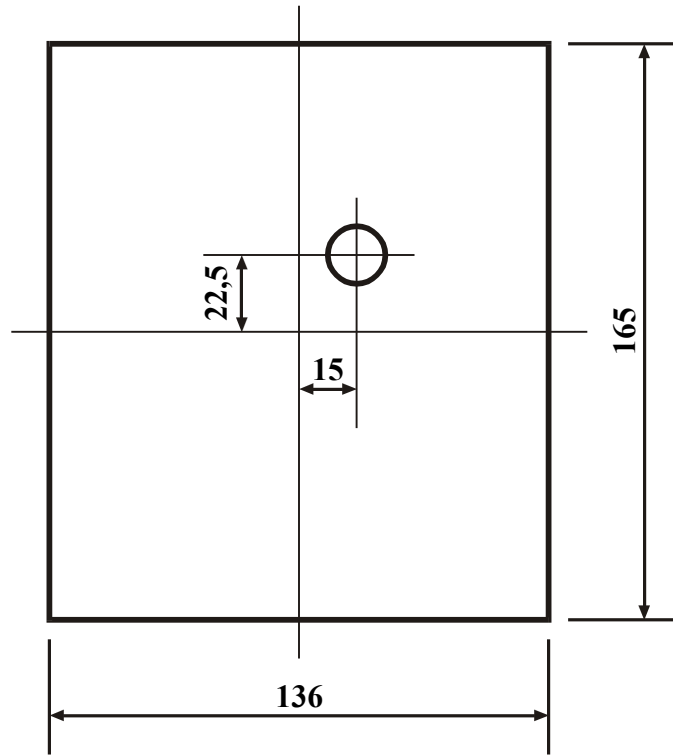


Fig. 6 - Baffle padrão, dimensões (Seção 11)

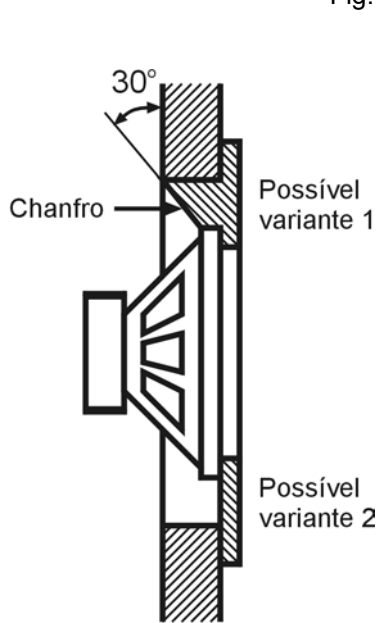


Fig. 7 - Baffle padrão com chanfro (Seção 11)



Fig. 8 - Baffle padrão com sub-baffle (Seção 11)

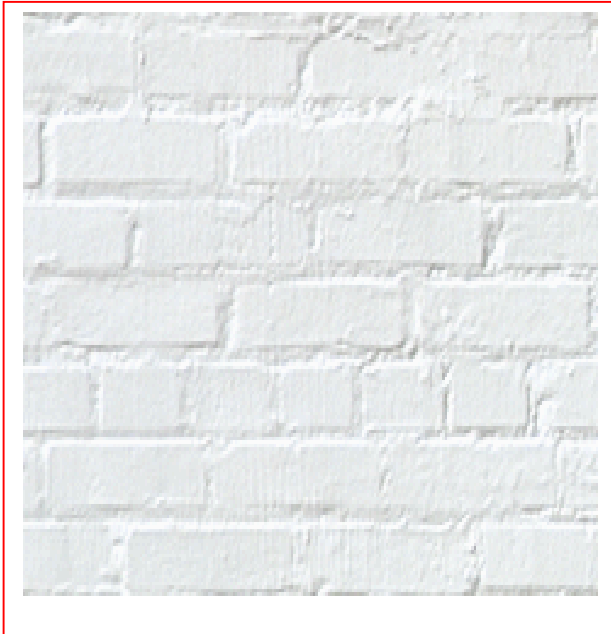


Fig. 9a - Sinal de programa musical simulado para uso genérico (Seção 4.5.1)

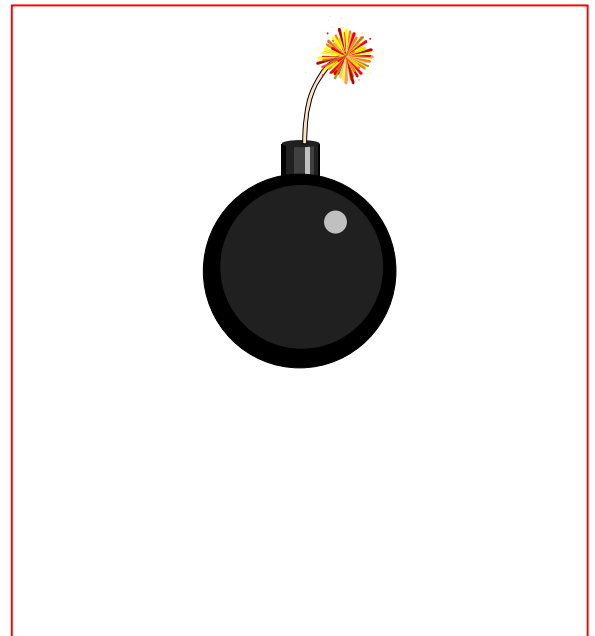


Fig. 9b – Circuito para a obtenção do sinal de programa musical simulado para uso genérico (Seção 4.5.2)

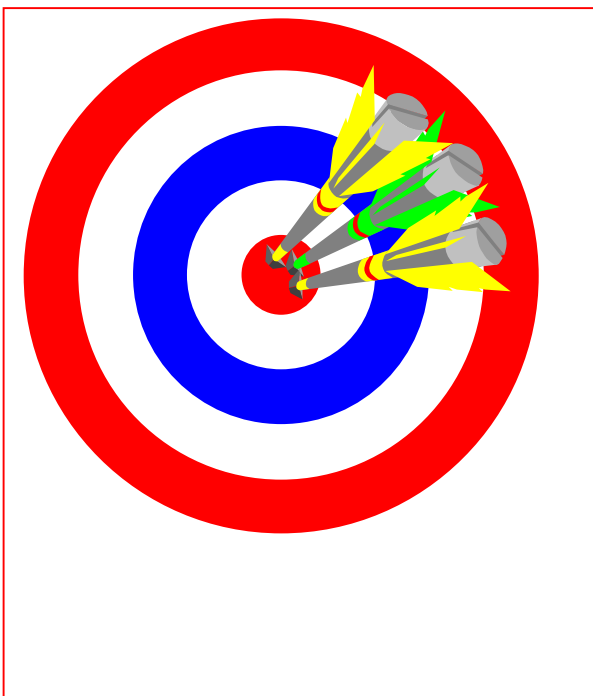


Fig. 10a - Sinal de programa musical simulado com extensão nas baixas frequências (Seção 4.5.2)

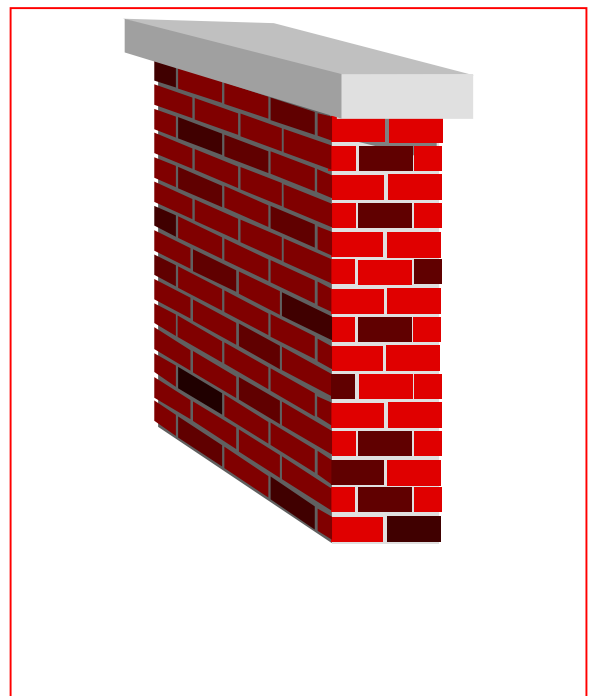


Fig. 10b – Circuito para a obtenção do sinal de programa musical simulado com extensão nas baixas frequências (Seção 4.5.2)