

# A TÉCNICA DO MASCARAMENTO SONORO APLICADA AO PROJETO ACÚSTICO DOS ESCRITÓRIOS PANORÂMICOS

Cláudia Vieira Carestiato Cordeiro, M.Sc. em Arquitetura - Doutoranda em Eng. de Produção  
FAU/UFRJ - PEP/COPPE/UFRJ  
R. Dona Mariana, 72/402 - Botafogo - 22.280-020 - Rio de Janeiro - RJ  
Tel/Fax: (021) 537-4702 - E-mail: claudiac@pep.ufrj.br

Jules Ghislain Slama, D.Sc. em Acústica e Dinâmica das Vibrações  
FAU/UFRJ - PEM/COPPE/UFRJ  
R. Barata Ribeiro, 427/302 - Copacabana - 22.040-000 - Rio de Janeiro - RJ  
Tel/Fax: (021) 257-0606 - E-mail: jules@proarq.ufrj.br

## RESUMO

Um dos principais objetivos do projeto acústico para escritórios panorâmicos é garantir o equilíbrio entre comunicação e privacidade, de forma que a comunicação se dê entre interlocutores próximos e a privacidade seja garantida para as demais estações de trabalho. Para isto, adotaremos dois critérios que irão definir a qualidade acústica desta tipologia:

1. Nível máximo de ruído de fundo, normalmente controlado através de: layout, uso de materiais absorventes e divisórias acústicas parciais;
2. Variação dinâmica do nível de ruído de fundo, pouco explorada nos projetos acústicos brasileiros, e que poderá ser minimizada através da utilização de sistemas eletrônicos de mascaramento.

## ABSTRACT

One of the principal target of an acoustical project for open plan offices is to guarantee the balance between communication and privacy; so that, communication can occur among adjacent people and privacy be guaranteed to the others workstations. To do so, we will adopt two variables, which will define this typology acoustical quality:

1. Maximum background noise level, normally controlled by layout, sound absorption materials and acoustical landscapes;
2. Background noise level dynamics variation, not much used in Brazilian projects, but which could be minimized by sound masking electronic systems.

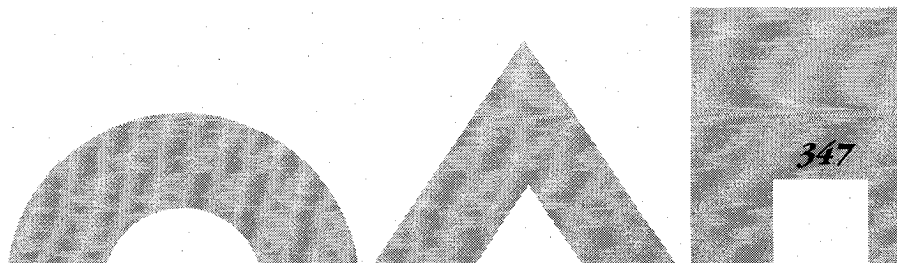
## CARACTERÍSTICAS DA SITUAÇÃO ACÚSTICA A SER TRATADA

A questão da privacidade no escritório panorâmico está diretamente relacionada à queda do nível de pressão sonora com a distância, pois para um receptor mais distante o nível de conversação percebido e compreendido será menor, ou seja, terá menos inteligibilidade e conseqüentemente causará menos incômodo.

Em um ambiente reverberante, esta redução depende das reflexões sonoras sobre o teto, piso, paredes e outras superfícies que compõem o ambiente. No caso do escritório panorâmico, a influência das paredes só ocorre em estações de trabalho muito próximas à elas, já que as dimensões de largura e comprimento são muito maiores que a altura, originando uma geometria achatada, onde a maior parte das reflexões se formam sobre um plano perpendicular aos planos paralelos do piso e do teto.

A meta de projeto em um ambiente com esta tipologia será aumentar a perda sonora com a distância de forma a incrementar a privacidade acústica, o que requer um teto altamente absorvente, uma boa absorção para impactos no piso e um tratamento cuidadoso das superfícies verticais próximas, tentando uma aproximação máxima das condições encontradas em campo livre, onde o decréscimo do nível sonoro com a distância é de 6 dB/dd.

A Fórmula de Kuttruff tem se mostrado apropriada para o cálculo do decaimento do som com a distância em ambientes com esta tipologia [10]:



$$NPS = NWS + 10 \log \left[ \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{\rho}{\pi a^2} \left\{ \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{r^2}{a^2}\right)\right)^{\frac{3}{2}}} + \frac{\rho}{1-\rho} \left( \frac{b}{\left(b^2 + \left(\frac{r^2}{a^2}\right)\right)^{\frac{3}{2}}} \right) \right\} \right] \quad (1)$$

onde:

- $\rho$  = Média entre os coeficientes de reflexão do piso e do teto ( $\rho = 1 - \alpha$ )
- $r$  = Distância da fonte (orador)
- $a$  = Distância entre os planos paralelos do piso e do teto (pé-direito)
- $b = \ln \left| \frac{1 - \rho \kappa}{(1 - \rho) \kappa} \right| + 1$  sendo:  $\kappa = 0,6019$

Utilizaremos ainda o Índice de Articulação (AI)<sup>1</sup> para caracterizar se a situação relativa entre duas estações de trabalho será de comunicação ou privacidade [11]:

$$AI = \frac{L + 12 - L'}{30} \quad (2)$$

onde:

- AI = Índice de articulação
- L = Nível de pressão sonora médio da voz dos ocupantes
- L' = Nível de ruído de fundo

A privacidade da fala é dita confidencial quando a fala pode ser ouvida, mas não pode ser entendida ( $0,00 < AI \leq 0,05$ ). E é considerada normal quando não provoca distrações, sendo necessário algum esforço para compreendê-la ( $0,05 < AI \leq 0,20$ ) [4]. Devemos ressaltar que a falta de comunicação não origina diretamente a privacidade, isto é, comunicação e privacidade não são conceitos opostos, e sim, complementares. Entre a condição de comunicação e a condição de privacidade existe uma condição intermediária onde coexistem certo grau de privacidade e certo grau de comunicação.

A condição de privacidade também engloba 2 aspectos: a privacidade de não ouvir e a privacidade de não ser ouvido, em relação às estações de trabalho vizinhas.

A obtenção da privacidade acústica entre as estações de trabalho dependerá do quanto o ruído intruso proveniente das estações vizinhas exceda o nível de ruído de fundo junto ao ouvido do receptor. Os ruídos intrusos dominantes em um escritório panorâmico se originam na fala e nos equipamentos, e dependem das seguintes variáveis:

- Amplitude sonora da fonte, sua diretividade e orientação.
- Atenuação do ruído intruso, resultante da combinação da redução pela distância e da proteção dada pelas barreiras.
- Incremento do som direto pelas reflexões sobre as superfícies que compõem o ambiente.
- Nível de ruído de fundo no ouvido do receptor, que dependerá principalmente do sistema de mascaramento, mas sofrerá a influência dos sistemas de ventilação, ar condicionado e iluminação.

A questão do ruído proveniente dos equipamentos pode ser melhorada com: a escolha de máquinas eficientes e com nível de ruído reduzido; a substituição de sinais sonoros por sinais visuais (luminosos); e a criação de salas isoladas acusticamente para situações onde o controle sonoro em área panorâmica é mais difícil, tais como centrais para máquinas de uso compartilhado (fax, copiadoras, telex), centro de processamento de documentos (impressoras, copiadoras, encadernação); salas de reunião, auditórios e copas (onde normalmente a conversação eleva o nível das vozes, sendo um problema maior que os equipamentos).

A conversação das estações de trabalho vizinhas torna-se então a principal fonte de ruído a ser tratada.

A diretividade e a orientação do ruído proveniente da fala podem ser controladas com a distribuição do layout interno e do mobiliário, evitando-se posições com oradores frente-a-frente e caminhos sonoros diretos (sem barreiras) entre estações que necessitem de privacidade.

A atenuação para as frequências da fala será dada pelo uso de materiais altamente absorventes no teto (principal área de reflexão), e pelo uso de divisórias acústicas compostas com materiais absorventes e isolantes, interrompendo os caminhos sonoros diretos.

A superfície do piso deve ter o tratamento voltado para a atenuação dos ruídos de impacto gerados pela circulação de pessoas, pelo arraste de cadeiras e pelo eventual cair de um objeto. A absorção para a reflexão no piso é menos importante que no teto, já que parte do som incidente é bloqueado pelo mobiliário, principalmente as mesas. Como todas as outras superfícies deve-se evitar o mobiliário composto por materiais com altos índices de reflexão, tais como metais e vidros.

O dimensionamento das divisórias parciais e o seu posicionamento são fundamentais para o seu desempenho. As divisórias entre estações de trabalho devem ter no mínimo 1,25 m de altura, ou seja, cobrir a altura do ouvido de uma pessoa sentada. As divisórias que dão para vias de circulação devem ter no mínimo 1,50 m de altura, de forma a bloquear a altura da boca de uma pessoa em pé. Nas vias de circulação principais, se a circulação for intensa ou a estação de trabalho necessitar de privacidade confidencial, as divisórias devem ter altura maior que 1,70 m. O posicionamento deve se dar de tal maneira que os receptores fiquem na zona de sombra da divisória [5].

Em relação aos índices de absorção é necessário atentar que, devido a presença de barreiras parciais, são as frequências da fala nas incidências entre 40° e 60° as que mais nos interessam. Os fabricantes nacionais não nos fornecem o valor de absorção para estes ângulos específicos. Os testes de absorção em tubo de impedância nos dão a absorção para a incidência a 90°, e os testes em câmara reverberante nos dão os resultados para incidência aleatória. Utilizaremos então, o valor de SAC (Speech Absorption Coefficient), calculado a partir dos coeficientes de absorção sonora, medidos em câmara reverberante, para as frequências de 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz [8]:

$$SAC = \sum (0,06 \alpha_{250} + 0,15 \alpha_{500} + 0,24 \alpha_{1000} + 0,32 \alpha_{2000} + 0,23 \alpha_{4000}) \quad (3)$$

Os materiais mais utilizados no teto são compostos de lâ-de-vidro ou de lâ-de-rocha, com SAC 3 0,85.

Os sistemas de ventilação, ar condicionado e iluminação interferem na qualidade acústica do escritório panorâmico sob dois aspectos: o ruído produzido pelo sistema; e a reflexão sonora da fala e dos ruídos de equipamentos pelos seus componentes e pelos elementos de fixação (grelhas, luminárias e outros)

Os ruídos produzidos por estes sistemas irão fazer parte do ruído de fundo do ambiente, e além de elevar o seu nível sonoro, poderão interferir no mascaramento da fala e no som introduzido pelo sistema de mascaramento. Para não causar interferências, devem ficar abaixo do ruído definido para o sistema de mascaramento. Recomenda-se como critério a NC 30 [3].

Quanto à reflexão do ruído sobre as superfícies dos componentes dos sistemas citados, alguns cuidados devem ser tomados na escolha dos componentes e na sua localização. No caso do sistema de iluminação fixado ao forro, o ideal seria que todos os componentes tivessem a mesma absorção acústica do próprio forro. A opção por luminárias parabólicas de diâmetro pequeno permite uma melhor redistribuição do ruído incidente, pois a reflexão será difusa. Outra opção é integrar a maior parte da iluminação ao mobiliário. Em relação aos sistemas de ventilação e ar condicionado deve-se evitar localizar as grelhas entre 2 estações de trabalho, criando uma faixa de reflexão, buscando-se as posições intermediárias.

As frestas entre painéis, entre painéis e piso (ou teto), e nos vãos das esquadrias precisam ser calafetadas com material absorvente para evitar a infiltração de sons e atenuar o impacto das partes móveis, como as portas.

## CRITÉRIOS DE QUALIDADE ACÚSTICA PARA ESCRITÓRIOS PANORÂMICOS

De acordo com a nossa pesquisa [6], verificamos que poderemos utilizar dois critérios básicos para definir a qualidade acústica do escritório panorâmico:

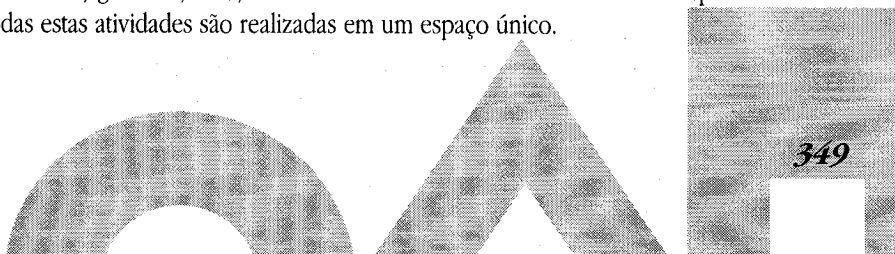
### NÍVEL DE RUÍDO DE FUNDO PARA CONFORTO ACÚSTICO

A condição de Conforto Acústico não busca tornar o ambiente totalmente silencioso, pois nesta condição pode-se escutar os sons mais baixos e mais distantes, transformando-os em um incômodo. Por outro lado, deve-se ter um limite máximo de ruído de fundo para que a atividade possa ser desenvolvida.

No caso dos escritórios panorâmicos, este critério deve promover um equilíbrio entre a comunicação e a privacidade. Se tivermos níveis sonoros muito elevados, as vozes conseqüentemente se elevarão para que haja comunicação. Se houver um nível de ruído de fundo muito baixo, poderemos escutar sons esporádicos e conversações baixas, e em ambas as situações haverá distrações. O objetivo será atingirmos uma faixa de ruído de fundo que promova este equilíbrio de forma flexível, de acordo com as atividades desenvolvidas no período, evitando a interferência de uma conversação vinda de certa distância e permitindo a conversação entre interlocutores próximos.

Um dos critérios mais utilizados para avaliar o Ruído de Fundo de um ambiente é o chamado *Critério de Ruído ou Noise Criteria*, conhecido através das Curvas NC [2]. É comum encontrarmos as curvas NC associadas a um valor único em dBA, que nos dá uma noção rápida do nível de ruído que causará incômodo para a realização de determinada atividade. Porém, ruídos com espectros diferentes podem ter uma mesma leitura em dBA, assim como podem estar classificados pela mesma curva NC. O ideal é analisarmos o ruído por faixa de frequência, antes de enquadrá-lo em categorias mais genéricas.

A norma NBR - 10.152 [2], nos dá faixas de Conforto Acústico para escritórios entre 30 e 65 dBA, ou entre as curvas NC 25 e NC 60, de acordo com a utilização da sala (reuniões, gerência, etc.), não fazendo nenhuma referência ao caso especial do escritório panorâmico, onde grande parte de todas estas atividades são realizadas em um espaço único.



Considerando um valor médio dentre os diversos valores propostos por vários autores estrangeiros [5] [8] [9] [12], adotaremos uma faixa entre 40 e 50 dBA para nível máximo de ruído de fundo para conforto acústico em escritórios panorâmicos, embora seja indicado uma pesquisa experimental, levando-se em consideração os fatores de percepção subjetivos em relação ao incômodo e a capacidade de adaptação da nossa população ao ruído, para que se possa estabelecer uma zona de conforto acústico adequado a nossa realidade.

### **AMBIENTAÇÃO ACÚSTICA CONSTANTE**

É de larga aceitação que um ruído intermitente incomoda mais que um ruído constante, muitas vezes de nível sonoro mais elevado, ao qual após certo tempo já estamos acostumados e não nos provoca mais distrações ou irritações. Daí a noção da importância da constância do nível de ruído de fundo na qualidade acústica de um ambiente. Este aspecto, embora citado na literatura [5] [7] [8], e expresso claramente na NBR-10.151 [1], não tem sido aplicado de forma prática, no Brasil, como critério de qualidade acústica no ato do projeto.

A ambientação acústica do escritório panorâmico deve ser constante no tempo e no espaço [6]. Do ponto de vista arquitetônico podemos considerar que é necessário uma variação de aproximadamente 3 dB no NIS, para que haja uma pequena percepção da sua variação, sendo que esta variação será claramente percebida quando for em torno de 6 dB [8]. Estes valores podem nos dar uma referência prática de em quando a flutuação do nível de ruído de fundo pode ser admitida, para que não cause perturbações, sendo que o ideal é que esta flutuação fique entre 1 e 3 dB, não devendo ultrapassar a 5 dB.

Considerando estas duas variáveis teríamos uma zona de conforto delimitada por níveis sonoros entre 40 e 50 dBA, com uma variação dinâmica de aproximadamente 3 dB [6]. Ao nos afastarmos dela, gradativamente perderíamos esta condição de conforto acústico. Se a situação estudada se distancia da zona de conforto em função da sua variação dinâmica, devemos reduzir a variação do nível de ruído de fundo, buscando torná-lo o mais constante possível no tempo e no espaço. Se o distanciamento é devido aos níveis sonoros, podemos ter duas situações: o nível de ruído de fundo deve ser reduzido, pois está acima do máximo aconselhável para o desenvolvimento das tarefas de um escritório; ou o nível de ruído de fundo deve ser elevado, pois o ambiente muito silencioso permite a percepção de sons distantes e baixos.

### **A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE MASCARAMENTO**

Chamamos de *maskamento* o efeito que ocorre quando o ruído de fundo se soma ao som de interesse e faz com que este som necessite de maior energia para ser identificado, ou seja, eleva subjetivamente o limiar de audibilidade para o som de interesse. A interferência do ruído de fundo é tal, que pode-se dizer que em um ambiente com níveis sonoros acima de 80 dB(A) é quase impossível a percepção da fala [8].

A superposição de dois sons resulta num som de nível de intensidade sonora maior que os níveis originais, se a diferença entre eles é inferior a 10 dB. De acordo com esta diferença, um valor em dB será adicionado à fonte de maior intensidade, podendo alterar ou não as suas características originais, inclusive a inteligibilidade, pelo mascaramento. Caso uma das fontes emita com intensidade superior a outra em mais de 10 dB, prevalecerá no ambiente o som de maior intensidade.

Sabemos que a redução do nível sonoro mediante a utilização de materiais absorventes e isolantes está relacionada com a questão do nível máximo de ruído para conforto. Porém, não podemos reduzir em excesso o nível do ruído de fundo em um escritório panorâmico, pois escutaríamos as atividades desenvolvidas em estações de trabalho distantes. Ao mesmo tempo, com um ruído de fundo extremamente reduzido, a uniformidade da ambientação acústica seria facilmente desfeita por qualquer nível de conversação ou ruído ocasional, derivados das próprias atividades do local.

A opção de reduzir a quantidade dos materiais absorventes e isolantes permitiria um aumento do nível do ruído de fundo do ambiente, porém a sensação ainda seria de desconforto, pois a conversação inteligível e os ruídos intermitentes dos equipamentos nos levariam a distrações e ao stress.

Torna-se então interessante a introdução de um certo ruído de fundo controlável e sem significado, para que se obtenha a uniformidade e os níveis sonoros desejados sem gerar estas condições desfavoráveis [6].

Para alcançarmos a qualidade acústica do ambiente dada por tais parâmetros, propomos a utilização da técnica do mascaramento sonoro através de sistemas eletrônicos integrado ao uso de materiais absorventes e divisórias acústicas.

A técnica adotada no uso de sistemas de mascaramento sonoro consiste na introdução de um nível ótimo de ruído de fundo estacionário e uniforme, com um espectro definido e adequado à superposição das frequências problemáticas, no caso dos escritórios panorâmicos, as frequências da fala.

Um som com espectro bem proporcionado e distribuído suavemente entre as frequências principais da fala, quando introduzido com um nível de intensidade adequado, irá sobrepor a fala das estações de trabalho vizinhas, diminuindo a inteligibilidade ( $< AD$ ) a partir de determinada distância e permitindo a conversação em distâncias inferiores a este limite, gerando áreas de comunicação e outras de privacidade. O equilíbrio entre inteligibilidade e privacidade de um escritório panorâmico só será possível, se o sistema de mascaramento for adotado em um ambiente com tratamento acústico, usos de materiais absorventes e divisórias parciais, conforme descrito nos itens anteriores. Se o sistema for colocado sem a integração destes outros componentes, estaremos apenas aumentando o nível de ruído de fundo.

O som adequado ao mascaramento não pode somente sobrepor as frequências da fala. Deve também ser constante no tempo e no espaço, não-obstrutivo, não-direcional, não causar irritação e não conter informações. O ruído branco<sup>2</sup> e o ruído rosa<sup>3</sup>, embora tenham

espectro distribuído de forma constante, não se adequam ao mascaramento, pois são obstrusivos e causam incômodo. O ruído gerado pelo sistema de ar condicionado é variável no tempo e no espaço, decaindo de 5 dB/dd, não dando a uniformidade desejada. A música, mesmo que instrumental, contem sons tonais, que carregam informação e causam a distração. Fontes naturais de mascaramento incluem o ruído de quedas d'água e ondas, porém, para obtermos um som com estas características, com a uniformidade desejada e a possibilidade de adaptar-se a várias situações, foram desenvolvidos sistemas sonoros com geração eletrônica de sinais.

## CONCLUSÕES

A utilização dos sistemas eletrônicos de mascaramento da fala integrado ao projeto acústico do escritório panorâmico ainda é uma prática pouco utilizada no Brasil, porém já faz parte de normas internacionais [4] como recomendação para tratamento acústico de ambientes com esta tipologia, devido aos bons resultados obtidos. Faz-se uma excessão aos ambientes onde trabalham pessoas portadoras de deficiências auditivas e visuais, para as quais o nível de ruído de fundo nas faixas de 40 a 50 dBA é muito elevado.

Os aspectos de incômodo e desconforto estão intimamente ligados a valores subjetivos e a aspectos psicológicos. A introdução do som de mascaramento no ambiente de trabalho tende a ser interpretada como um aumento de ruído e conseqüentemente um aumento do incômodo. Para muitos funcionários será difícil compreender o processo do mascaramento. Sob este aspecto, a colocação de um sistema de mascaramento não deve ser divulgada entre os usuários do espaço, pois gera uma expectativa em relação ao som a ser introduzido que faz com que as pessoas não consigam se desligar deste som, mesmo quando o projeto acústico do ambiente é bem elaborado [12]. Como conseqüência, haverá a manifestação do desconforto. O sistema já deve estar em funcionamento quando os funcionários começarem a chegar ao local de trabalho e só deve ser desligado após todos deixarem o ambiente. O nível do som de mascaramento deve ser aumentado gradualmente (1dB/dia) até atingir o nível desejável, promovendo uma adaptação gradual a nova paisagem acústica. O sistema deve ser projetado para as possíveis variações de ocupação do espaço, para que o som de mascaramento se adeque ao número de ocupantes do ambiente e continue despercebido [8].

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR - 10.151: Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade*. Rio de Janeiro, 1987.
2. *NBR - 10.152: Níveis de Ruído para Conforto Acústico*. Rio de Janeiro, 1987.
3. ASHRAE *Handbook*, 1987.
4. ASTM: American Society for Testing and Materials. *E 1374: Standard Guide for Open Office Acoustics and Applicable ASTM Standards*. Philadelphia, 1990.
5. BERANEK, L. L. *Noise and Vibration Control*. New York, Mc Graw Hill, 1957.
6. CORDEIRO, C.V.C. *Qualidade Acústica em Escritórios Panorâmicos: A Utilização de Sistemas Eletrônicos de Mascaramento*. Rio de Janeiro: Tese (Mestrado em Arquitetura) - UFRJ, 1996.
7. DEL CARLO, U. *Acústica dos Escritórios Panorâmicos*. São Paulo, 1972. (Tese de Doutorado - FAU/USP)
8. EGAN, M. DAVID. *Architectural Acoustics*. New York, Mc Graw Hill, 1988.
9. HARRIS, D. A. *Acoustics Ergonomics - A Challenge for the '90s*. In: *Facility Management Journal*. Canadá, May/ Jun, 1991, p. 32 - 35.
10. HATANAKA, H.; YOSHIMURA, J.; OGAWA, H. & YAMASHITA, M. *Sound Propagation in Open-Plan Offices*. In: *Proceedings of Inter-Noise 95 - The 1995 International Congress on Noise Control Engineering*. N. York, Noise Control Foundation, 1995. 2 v., p. 743 - 746.
11. PIRN, R. *Acoustical Variables in Open Planning*. In: *The Journal of The Acoustical Society of America*. May, 1967, v. 49, n. 5, p. 1339 - 1345.
12. WARNOCK, A. C. C. *Acoustical Privacy in the Landscape Office*. In: *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 53, nº 6, 1973, p. 1535 - 1543

**1 A inteligibilidade da fala é dada pela relação entre o número de sentenças, palavras ou sílabas entendidas, e o número de sentenças, palavras ou sílabas faladas, expressas em porcentagem, em um processo experimental chamado Teste de Articulação. A partir deste resultado é calculado o Índice de Articulação. Um Índice de Articulação de 0,40 corresponde a 95% de inteligibilidade, e 90% das palavras do Teste de Articulação foram entendidas.**

**2 Ruído Branco é aquele que possui Nível de Pressão Sonora (NPS) constante em toda faixa de frequência. Se analisarmos a energia por faixa de oitava, observaremos um acréscimo de 3 dB por oitava.**

**3 Ruído Rosa é aquele que possui energia constante por faixa de oitava. O NPS varia linearmente com a frequência.**