

Boletim Informativo de Engenharia

informações para projetistas do sistema HVAC da atualidade

Especificação da “qualidade do som”

A acústica adequada, ou seja, a soma não excessiva de todos os sons, é essencial para que um ambiente seja “confortável”. De modo geral, o nível sonoro em qualquer lugar específico é proveniente da soma dos sons oriundos de diversas fontes. Os equipamentos de escritório (copiadoras, aparelhos de fax, telefones, computadores pessoais), por exemplo, contribuem para o som no espaço, assim como as vozes e os sistemas HVAC do edifício.

É fácil decidir se o som agregado no ambiente em questão é aceitável ou não. Basta ouvi-lo. Os projetistas enfrentam um desafio muito maior quando recebem uma solicitação para criar um ambiente que atenda às necessidades acústicas dos ocupantes. Os projetistas precisam antecipar e especificar o caráter acústico almejado do espaço construído, além de também precisarem prever, com precisão, o efeito acústico do sistema HVAC.

Como este *Boletim Informativo de Engenharia* demonstra, a “qualidade de som” vai além dos baixos níveis sonoros. O objetivo deste documento é triplo:

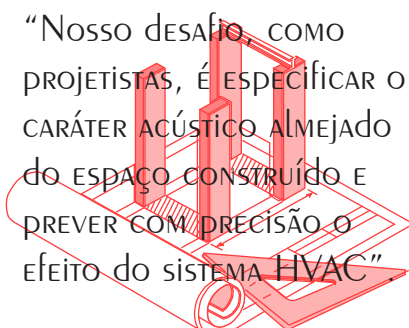
- Esclarecer os descritores de som mais comumente usados, incluindo potência sonora e pressão sonora, bandas de oitava, avaliação de ruído (NC), avaliação de ruído do ambiente (RC) e a rede de ponderação A (dBA).
- Examinar modos de especificar o conforto acústico almejado. e...
- Enfatizar a importância de especificar o desempenho acústico com base em uma análise que converta a potência sonora em pressão sonora.

Por que especificar o som?

O cachorro latindo que não deixa você dormir de noite ... o barulho irritante no painel do seu carro ... o som de uma fotocopiadora do lado de fora da sua baia no escritório. Estes são apenas alguns exemplos de sons ou **ruídos** indesejáveis.

Algumas pesquisas periódicas realizadas pela Building Owners and Managers Association (BOMA) indicam o nível no qual as pessoas relacionam o som com o conforto. Todos os anos, os entrevistados identificam consistentemente a má qualidade do ar em ambientes internos (IAQ), temperaturas desconfortáveis e ruídos como as principais causas que motivam a mudança de um espaço alugado para outro. Fica evidente também que esses fatores são de importância relativamente igual, pois as respectivas classificações que recebem mudam todo ano.

“Nosso desafio, como projetistas, é especificar o caráter acústico almejado do espaço construído e prever com precisão o efeito do sistema HVAC”



O que é considerado como som “aceitável” varia consideravelmente de acordo com o uso pretendido do espaço construído. Obviamente, a acústica das fábricas não precisa ser tão boa quanto a das igrejas, enquanto que os escritórios têm requisitos totalmente distintos. Mas não é suficiente saber o tipo de uso envolvido. O projetista precisa identificar os diferentes tipos de espaços que existem dentro de um edifício específico e determinar as necessidades acústicas de cada um deles.

O som de fundo, por exemplo, proporciona privacidade em escritórios abertos, mascarando o som de vozes e equipamentos das áreas contíguas. No entanto, o mesmo nível de som de fundo seria inaceitável na sala de reunião ou sala da diretoria no mesmo edifício.

A ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.), fornece aos projetistas diretrizes gerais para os ruídos de sistemas HVAC em espaços desocupados (consulte a Tabela 1, página 2). Para entender melhor a natureza e as limitações dessas diretrizes, vamos analisar algumas das propriedades do som.

Potência sonora e pressão sonora

“Potência sonora” e “pressão sonora” são duas características distintas e comumente confundidas do som. Ambas utilizam a mesma unidade de medida, o decibel (dB), e o termo “nível sonoro” é normalmente empregado como alternativa a qualquer uma delas. No entanto, para entender como medir e especificar o som, o projetista do sistema HVAC precisa primeiro entender a diferença entre essas propriedades.

Potência sonora é a energia acústica emitida pela fonte sonora e é um valor absoluto. Ela **não** é afetada pelo ambiente.

A **pressão sonora** é uma interferência na pressão na atmosfera cuja intensidade é influenciada não apenas pela força da fonte, mas também pelo ambiente e pela distância entre a fonte e o receptor. A pressão sonora é o que nossos ouvidos ouvem, o que os medidores de som medem ... e o que, em última análise, determina se um projeto apresenta um som de qualidade.

Uma analogia esclarecedora.

A seguinte comparação entre som e luz pode ajudar a ilustrar a diferença entre esses termos. Pense na **potência sonora** como a potência nominal de uma lâmpada; ambas medem uma **quantidade fixa de energia**.

A **pressão sonora** corresponde à luminosidade de uma certa parte da sala; ambas podem ser medidas com um medidor e o ambiente circundante influencia a magnitude de ambas. No caso da luz, o brilho é mais do que uma questão de potência da lâmpada. Qual a distância entre a lâmpada e o observador? Qual é a cor da sala e quão refletiva é a superfície da parede? A lâmpada está sombreada? Todos esses fatores afetam a quantidade de luz que chega ao receptor.

De modo semelhante, a pressão sonora depende não apenas da potência sonora emitida pela fonte, mas também das características do ambiente. Novamente, qual a distância entre a fonte do som e o receptor? A sala é forrada com carpete ou piso ... mobiliada ou está vazia? Assim como a luz, alguns fatores ambientais como estes afetam a quantidade de som que chega ao receptor.

Relação entre a potência e a pressão.

As **potências** sonoras nominais dos equipamentos são determinadas em um laboratório de acústica, geralmente pelo próprio fabricante. Padrões específicos qualificam as instalações e os métodos de teste para promover uniformidade dos dados e comparações objetivas de unidades diferentes em toda a indústria.

Em contraste, a **pressão** sonora pode ser medida em um espaço existente com um medidor de som. Ela também pode ser estimada para um espaço que ainda não foi construído por meio de uma análise acústica. Uma vez que os únicos dados precisos de som que os fabricantes podem fornecer são expressos como potência sonora, o desafio de projetar um som de qualidade é examinar o efeito dos fatores ambientais (consulte "Especificação da qualidade do som" na página 6 deste boletim informativo).

Tabela 1

Diretrizes de projeto para ruído de sistemas HVAC em espaços desocupados			
Espaço	RC(N) Nível ^{a,b}	Espaço	RC(N) Nível ^{a,b}
Residências, apartamentos, condomínios privados	25-35	Igrejas, mesquitas, sinagogas com programas musicais importantes	25-35 ^c
Hotéis/motéis		Escolas	
Quartos ou suítes individuais	25-35	Salas de aula de até 69,67 metros	Máx. 40
Salas de reuniões/para banquetes	25-35	Salas de aula de tamanho superior a 69,67 metros	Máx. 35
Corredores, saguões, áreas de serviço	35-45	Salas de palestras (> 50 occ.) sem amplificação de voz	Máx. 35
Prédios de escritórios		Tribunais	
Escritórios executivos/privados	25-35	Sem amplificação de voz	25-35
Salas de conferência	25-35	Com amplificação de voz	30-40
Salas de teleconferência	Máx. 25		
Escritórios abertos	30-40		
Áreas de circulação e saguões públicos	40-45		
Hospitais, clínicas		Bibliotecas	30-40
Salas privadas, salas de cirurgia	25-35		
Alas, corredores, áreas públicas	30-40		
Espaços para artes performativas		Estádios e ginásios internos,	
Teatros	Máx. 25	Ginásios/áreas com piscinas de natação em escolas/universidades	40-50 ^d
Salas de concertos e recitais	^c	Espaços com grande capacidade para pessoas sentadas	45-55 ^d
Estúdios de ensino de música	Máx. 25	(com amplificação de voz)	
Salas de prática musical	Máx. 35		
Laboratórios com capela de exaustão			
Teste/pesquisa, mínimo uso de voz	45-55		
Pesquisa, alto uso de voz/telefone	40-50		
Ensino em grupo	35-45		

^a Os valores e intervalos são baseados no julgamento e na experiência, não em avaliações quantitativas das reações humanas. Eles representam os limites gerais de aceitabilidade para as ocupações típicas dos edifícios. Valores mais altos ou mais baixos podem ser adequados e devem ser baseados em uma análise cuidadosa da economia, do uso do espaço e das necessidades dos usuários. De maneira independente, eles não servem como base para um acordo contratual.

^b Caso a qualidade do som no espaço seja importante, especifique os critérios em RC (N). Se a qualidade do som no espaço for uma preocupação secundária, os critérios podem ser especificados em termos de níveis NC.

^c Um consultor especializado em acústica deve ser contratado para oferecer orientações em espaços em que a acústica seja essencial (abaixo de RC 30) e para todos os espaços de artes performativas.

^d Os níveis de espectro e a qualidade do som são menos importantes nesses espaços do que os níveis sonoros gerais.

As informações anteriores foram retiradas da Tabela 2 no Capítulo 43, "Controle de Som e Vibração", do Manual de Aplicações da ASHRAE de 1995.

Ouvidos e medidores de som

Ao contrário de um medidor de som, que oferece uma análise imparcial e repetível da pressão sonora, a sensibilidade dos ouvidos humanos varia de acordo com a frequência.

Nossos ouvidos também estão ligados a um dispositivo de avaliação bastante arbitrário, o cérebro. A Tabela 2 identifica diversos fatores que contribuem para essa subjetividade. É esse "fator imprevisível" que motiva, e frustra, os esforços para desenvolver um método para a quantificação e especificação do conforto acústico.



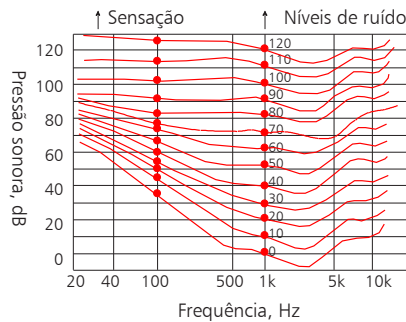
Por ser um órgão sensorial **seletivo**, o ouvido humano é mais sensível às altas frequências do que às baixas. Sua sensibilidade em uma determinada frequência também varia de acordo com o volume. A Figura 1 ilustra essas características usando contornos; cada contorno representa um nível de volume específico em toda a faixa de frequência mostrada. Observe que os contornos dos sons “baixos” (<90 dB) tendem para baixo conforme o aumento da frequência, indicando que nossos ouvidos são menos sensíveis aos sons de baixa frequência. Os contornos nivelam conforme o nível de decibéis aumenta, indicando uma resposta mais uniforme a sons “altos” (≥ 90 dB) em toda a faixa de frequências.

Os **tons**, sons que ocorrem em uma faixa de frequência estreita, provocam uma resposta particularmente intensa. O rangido do giz em uma lousa, por exemplo, produz um tom extremamente irritante.

Bandas de oitava e decibéis

O som é consideravelmente mais difícil de medir do que a temperatura ou a pressão. Como ele ocorre em uma faixa de frequências distintas, ou *f*, seu nível deve ser medido (ou estimado, no caso de uma análise) **em cada frequência** para que se entenda como ele será percebido em um ambiente específico.

Figura 1
Contornos de ruídos



Nossos ouvidos são capazes de detectar sons em frequências que variam de 20 a 16.000 Hertz (Hz), mas os projetistas costumam se concentrar nos sons que variam de 44 a 11.300 Hz para acústica de salas. Apesar desse limite, a medição de sons em cada frequência resultaria em 11.256 pontos de dados por leitura!

Para que seja mais fácil trabalhar com essa quantidade de dados, esse espectro de 44 a 11.300 Hz é dividido em bandas de oitava. Cada **banda de oitava** é identificada por sua **frequência central** e é delimitada de modo que a frequência mais alta da banda seja duas vezes sua frequência mais baixa. A “frequência central da banda de oitava”

é $2^{0.5} \times f_{\text{mais baixa}}$ então o espectro de 44 a 11.300 Hz contém oito bandas de oitava com frequências centrais de 63, 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 e 8.000 Hz.

O som não somente abrange um amplo espectro de frequências, mas também um extenso intervalo de volumes. O som mais alto que o ouvido humano consegue ouvir (sem danos) é 10 **milhões** de vezes mais alto do que o som mais baixo perceptível. Números dessa magnitude dificultam o uso de uma escala aritmética e, por essa razão, uma escala logarítmica é usada. A conversão do intervalo aritmético de 1 a 10 milhões com o uso de uma escala logarítmica de “base 10” (log10) resulta em um intervalo de 0 a 7.

A escala de 0 a 7 também deve ser vinculada a um valor de referência, *Nref*, pelo qual os valores medidos, *N*, são subsequentemente divididos. (O valor de referência para pressão sonora é 20 micropascal; para potência sonora, é de 1 picowatt.) O resultado sem unidade é descrito como “béis” ou, mais comumente, “decibéis” (dB). “Deci” é simplesmente um prefixo que significa 10-1. A equação correspondente é:

$$dB = 10 \log_{10} (N/N_{ref})$$

Consulte a barra lateral intitulada “Alguns termos de acústica que você deveria conhecer ...” na página 4.

Medir o som com uma **escala logarítmica** significa que a adição logarítmica deve ser usada para adições e para tirar a média dos níveis sonoros. O som medido em uma determinada banda de oitava é a soma logarítmica do som em cada uma das frequências da banda. A boa notícia é que, ao contrário da média, a soma logarítmica não oculta a magnitude de um tom. Infelizmente, isso não indica que o ouvido seja capaz de ouvir a diferença entre uma oitava que contenha um tom e outra que não, mesmo quando a magnitude geral de ambas as oitavas é idêntica. Portanto, o processo de soma logarítmica, embora prático, sacrifica informações importantes sobre a “qualidade” do som.

Tabela 2

Fatores que afetam o nível de perturbação individual do ruído	
Fatores acústicos principais...	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nível sonoro ■ Frequência ■ Duração
Fatores acústicos secundários...	<ul style="list-style-type: none"> ■ Complexidade espectral ■ Flutuações no nível de som ■ Flutuações na frequência ■ Tempo de elevação do ruído ■ Localização da fonte de ruído
Fatores não acústicos.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fisiologia ■ Adaptação e experiências anteriores ■ Como a atividade do ouvinte afeta o nível de perturbação ■ Previsibilidade de quando um ruído ocorrerá ■ O ruído é necessário? ■ Diferenças individuais e personalidade

Extraído de “Environmental Systems Technology” por W. David Bevirt, P.E., onde aparece na Tabela 5-7 da página 5.26. Publicado pelo National Environmental Balancing Bureau (NEBB), 8224 Old Courthouse Road, Viena, VA 22810.

Descritores de número único

Tendo em conta a natureza complexa do som, não é surpreendente que muito esforço tenha sido empregado para desenvolver um sistema eficaz de

descritores de número único. Com esse sistema, metas de “som de qualidade” podem ser estabelecidas para diferentes ambientes prediais. Essas metas auxiliam os projetistas a especificar requisitos acústicos adequados que sejam comprováveis por meio de medições. Por exemplo, um projetista pode especificar que “o nível de som de fundo no teatro Acme deve ser X”, onde X é um descritor de número único que transmite a qualidade de som almejada.

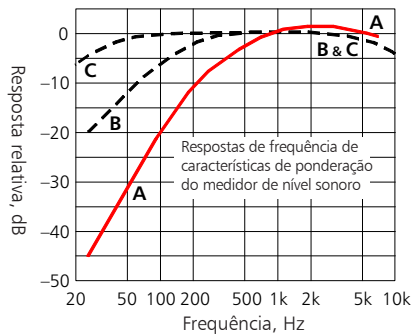
Os descritores de número único usados com mais frequência são a rede de ponderação A, avaliação de ruído (NC) e avaliação de ruído do ambiente (RC). Os três têm um problema em comum: eles inevitavelmente perdem informações importantes sobre o caráter ou a “qualidade” do som.

Cada um desses descritores é baseado em dados da banda de oitava que, como observado anteriormente, já oculta os tons. O processo de conversão de bandas de oito oitavas em um único número desconsidera ainda mais dados dos sons.

Apesar dessa deficiência, os descritores de número único resumidos abaixo são ferramentas valiosas para a definição do som e são amplamente usados na especificação de requisitos acústicos.

Ponderação “A”. Um método simples para combinar as leituras de banda de oitava em um descritor de número único é a **ponderação A-B-C**. Representadas pelas curvas mostradas na Figura 2, essas redes de ponderação compensam

Figura 2
Redes de ponderação A – B – C



a sensibilidade variável do ouvido em diferentes frequências. A ponderação “C” é aplicada aos níveis de som de volume elevado (alto), aos quais a resposta do ouvido é relativamente baixa, enquanto a ponderação “B” é aplicada aos níveis de som de volume médio. A ponderação “A”, que é usada para pressões sonoras de volume baixo (silenciosas), é a que melhor se aproxima dos níveis de audição humana na faixa de conforto, em que nenhuma proteção é necessária.

As etapas a seguir descrevem como calcular um descritor de ponderação A (dBA).

- 1 Subtraia esses valores de decibéis da banda de oitava citada: 26 dB de 63 Hz, 16 dB de 125 Hz, 9 dB de 250 Hz e 3 dB de 500 Hz.
- 2 Adicione 1 dB a cada uma das bandas de oitava de 2.000 Hz e 4.000 Hz.

- 3 Adicione em escala logarítmica todas as oito bandas de oitava para alcançar um nível de som de ponderação A geral (dBA).

Os dados sobre a magnitude relativa de cada banda de oitava são perdidos após a conclusão da Etapa 3. Portanto, mesmo que o nível de dBA almejado seja alcançado, pode haver uma qualidade tonal indesejável ou um desequilíbrio de espectro.

A maioria dos medidores de nível sonoro calcula e exibe automaticamente os valores sonoros de ponderação A, oferecendo um mecanismo simples e objetivo de verificar o desempenho acústico.

A ponderação “A” é frequentemente usada para definir o som em ambientes **externos**. Por exemplo, as leis locais sobre sons normalmente regulam os níveis de dBA nos limites da propriedade. Os padrões de segurança relacionados à audição estabelecidos por órgãos como a Occupational Safety and Health Organization (OSHA) também costumam fazer menção a leituras de som de ponderação A.

Observação: Como regra, a ponderação “A” é aplicada aos dados de **pressão sonora** de banda de oitava e é combinada em um número único... mas há uma exceção. O ARI Standard 270 recomenda o uso da **potência sonora** de ponderação A. Para evitar confusão com os valores de pressão sonora de ponderação A, a potência sonora de ponderação A é expressa em béis, em vez de decibéis.

Alguns termos de acústica que você deveria conhecer...

Decibel. Denota a diferença relativa entre a intensidade do som e a intensidade inferior do som de referência; é igual a 10 vezes o logaritmo comum da razão dos dois níveis de intensidade: $dB = 10 \log_{10} (N/N_{ref})$. Os valores de referência tipicamente usados são 10^{-12} watt (1 pW) para potência sonora e 20 micropascal (20 μPa) para pressão sonora.

Frequência. Número de ciclos em um segundo. (Um “ciclo” é a sequência completa de movimento de uma onda sonora.)

Banda de oitava. Um intervalo de frequência com um limite superior que é o dobro da frequência de seu limite inferior.

Som. Emissões audíveis resultantes do deslocamento/vibração de moléculas em um meio elástico como o ar ou, em um contexto de HVAC, a estrutura do edifício.

Potência sonora. Energia acústica, medida em watts, emitida por uma fonte sonora. É um valor calculado não afetado pelo ambiente e pela distância.

Pressão sonora. Uma perturbação atmosférica audível que pode ser diretamente medida; sua intensidade é influenciada pelo ambiente e pela distância da fonte sonora.

Tom. Um som de afinação, qualidade ou duração distinta com uma faixa de frequência estreita.

Para mais informações básicas sobre acústica, consulte o capítulo “Som e vibração” do *ASHRAE Fundamentals Handbook* ou o manual *Acoustics in Air Conditioning* (FND-AM-5) da Trane.



Idealmente, a ponderação "A" da pressão sonora que exibe todas as oito bandas de oitavas e qualquer ponderação A da potência sonora (exceto de acordo com o padrão ARI 270) devem ser evitadas.

Avaliação de ruído. A "avaliação de ruído" ou curvas NC é provavelmente o descritor de número único mais comum usado para definir a qualidade do som de ambientes **internos**. Como os contornos de ruídos iguais (Figura 1) nos quais elas se baseiam, o ruído ao longo de cada curva do gráfico NC é praticamente o mesmo. Cada curva NC também se inclina para baixo para refletir o aumento da sensibilidade do ouvido em frequências mais altas.

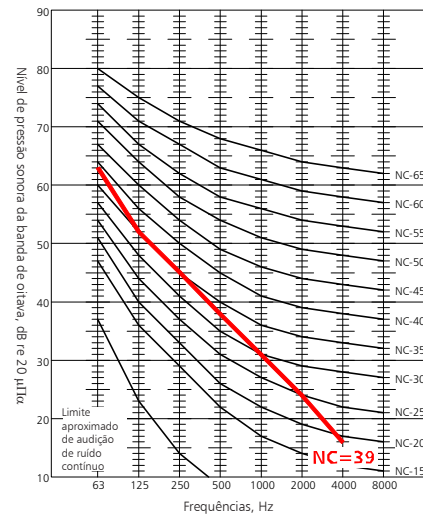
É fácil determinar o valor NC para um dado conjunto de dados da banda de oitava. Basta traçar os dados da banda de oitava no gráfico NC ... a curva NC mais alta cruzada pela curva de dados determina a classificação NC. Claro, essa estratégia ainda não leva em consideração a natureza tonal e a magnitude relativa de cada banda de oitava, embora evite a adição logarítmica.

Por que essa informação "perdida" é tão importante? A resposta é melhor explicada com um exemplo. A Figura 3 mostra os dados da banda de oitava medidos em uma área de escritório aberto e traçados em uma curva NC. Observe que o valor resultante, NC 39, é aceitável para este ambiente. Observe também que o nível NC é definido pela banda de oitava de 63 Hz e que o som nas bandas superiores diminui rapidamente.

Neste exemplo específico, o som produzido pela unidade de condicionamento de ar viaja através dos dutos e se irradia para a área do escritório através da parede do duto. Para atingir o nível NC almejado, duas camadas de gesso foram adicionadas ao externo do duto para bloquear suficientemente o som de baixa frequência.

Infelizmente, como os sons de alta frequência são atenuados com muito mais facilidade do que os sons de frequência baixa, as bandas das oitavas superiores ficaram atenuadas demais. Embora uma análise objetiva considere o nível de som NC39 resultante aceitável, a maioria dos ouvintes provavelmente não concordaria, pois o espectro em desequilíbrio produz um estrondo abafado incômodo.

Figura 3
Gráfico NC com dados sonoros de exemplo



É interessante notar que, um som de qualidade pode ser alcançado neste exemplo com a **adição de sons** ao espaço. Colocar alto-falantes na sala (ou acima da placa do teto) para introduzir sons nas bandas superiores equilibraria o espectro sonoro. Nesse caso, a análise subjetiva dos ocupantes do escritório concordaria com os dados acústicos objetivos.

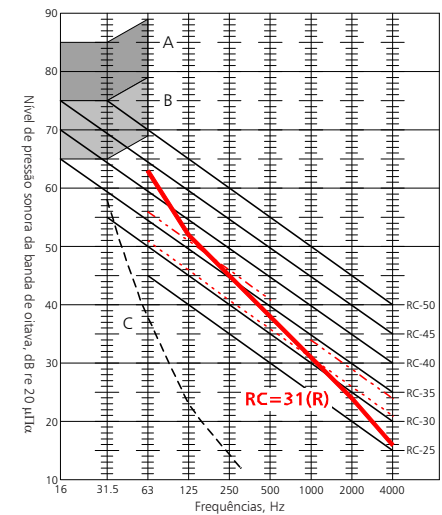
Avaliação de ruído do ambiente. Os espectros sonoros podem ser desequilibrados de outras maneiras, resultando em baixa qualidade acústica. Embora muitos sons de baixa frequência produzam um estrondo abafado, muitos sons de alta frequência produzem um chiado. As curvas de avaliações de ruído do ambiente (RC) oferecem um meio de identificar esses desequilíbrios. Calcular o valor RC de um conjunto de dados de banda de oitava não é tão fácil quanto determinar o valor NC. No entanto, trata-se ainda de um processo simples (consulte a barra lateral "Como determinar a classificação de ruído RC" na página 7) que produz um descritor de número único seguido por uma ou mais letras indicando o caráter do som:

- **N** identifica um espectro "neutro" ou equilibrado.
- **R** indica "estrandoso".
- **H** representa "chiado".
- **RV** denota "vibração perceptível".

Para ajudar os projetistas do sistema, a ASHRAE recomenda classificações de RC almejadas para vários tipos de espaços (consulte a Tabela 1 na página 2) e incentiva o uso do procedimento de classificação de ruído RC "sempre que a qualidade do espaço ditar a necessidade de um som de fundo neutro e discreto".

Se traçarmos os dados acústicos para nosso escritório de aberto de exemplo em um gráfico RC (Figura 4), descobriremos que o resultado é uma classificação de RC 31 (R). Desta vez, nossas análises objetivas e subjetivas levam à mesma conclusão: embora seja "silencioso" o suficiente, o som de fundo no espaço é estrondoso. De modo semelhante, uma curva de espectro de som que se enquadra na categoria RC "neutra" seria julgada como excelente pela maioria dos observadores. É essa conformidade dos resultados da análise que torna o método de classificação de

Figura 4
Gráfico RC com dados sonoros de exemplo



Região A: Probabilidade alta de que os níveis de vibração gerados por ruído em construções leves de parede e teto sejam sentidos; antecipe trepidações audíveis em luminárias, portas, janelas, etc.

Região B: Níveis de vibração gerados por ruído em construções leves de parede e teto podem ser sentidos; pequena possibilidade de trepidações audíveis em luminárias, portas, janelas, etc.

Região C: Abaixo do limite de audição de ruídos contínuos.

Extraído do Capítulo 7, "Som e vibração," do ASHRAE Fundamentals Handbook de 1993.

ruído RC uma ferramenta melhor do que suas predecessoras para a especificação de requisitos acústicos.

Apesar dessa vantagem, o sistema de classificação RC é menos usado do que outros descritores de número único. Talvez os projetistas de sistemas não conheçam suas vantagens ou se sintam confortáveis com o cálculo mais fácil proporcionado pela classificação NC. Eles também podem questionar a utilidade dos descritores com letras do sistema de classificação RC, que identificam a natureza de um problema de qualidade de som, mas não comunicam sua magnitude.

Especificação da qualidade do som

A partir da nossa discussão sobre a terminologia relacionada ao som, podemos inferir que a especificação de um som de qualidade para uma determinada aplicação requer:

- Determinar o caráter acústico almejado e ...
- Escolher um descritor de número único adequado, levando em consideração as limitações inerentes a cada esquema de numeração.

Por exemplo, suponha que um chiller resfriado a ar seja colocado ao lado de um edifício que tem o som limitado pela legislação local em 50 dBA. Esse requisito pode ser declarado na especificação como:

“O nível de pressão sonora de ponderação A não deve exceder 50 dB re 20 μ Hz, medido na escala de resposta lenta, em qualquer lugar dentro do limite da propriedade. O período de observação deve ser de pelo menos 60 segundos em cada local de medição.”

Similarmente, a especificação para uma unidade de condicionamento de ar localizada em ambiente interno pode declarar:

“A pressão sonora medida re 20 μ Hz não deve exceder NC 40 em nenhum lugar no espaço ocupado. As medições devem ser realizadas no ajuste lento e o período de observação deve ser de pelo menos 60 segundos em cada local de medição.”

Análise é fundamental. Os dois exemplos destacam um ponto importante: a inclusão

de um descritor de número único na especificação quer dizer que **uma pessoa precisa realizar uma análise acústica** para determinar se o equipamento HVAC proposto atenderá aos requisitos acústicos. Para fazer essa estimativa, a análise deve converter as classificações de potência sonora do equipamento em pressão sonora e avaliar o efeito dos fatores ambientais.

A menos que a aplicação seja muito simples, o som que chega ao espaço ocupado será alterado pela tubulação, mobília da sala, etc. A validade de uma análise acústica, portanto, depende da familiaridade do analista com os detalhes da construção.

O **modelo fonte-caminho-receptor** oferece uma abordagem sistemática para a análise acústica. Como o nome sugere, este método de modelagem acompanha o som desde sua origem (por exemplo, em um ventilador ou compressor) até o local em que é ouvido (por exemplo, em volta de uma mesa de conferência). Tudo o que o som encontra no percurso entre esses dois pontos constitui o “caminho”.

O som oriundo de uma determinada fonte provavelmente seguirá mais de um caminho, então o nível sonoro no receptor será a soma coletiva das análises dos caminhos. A Figura 5 mostra os caminhos típicos dos sons associados a um condicionador de ar instalado em uma sala de equipamentos mecânicos próxima a um espaço ocupado.

Alquimia acústica. A definição dos parâmetros do modelo é simples. Os fabricantes fornecem os dados de **potência sonora** dos equipamentos fontes e os proprietários definem a **pressão sonora** almejada para as salas receptoras. O trabalho e a **arte** da análise acústica estão na identificação e quantificação dos elementos do caminho que atenuam ou amplificam o som. As equações teóricas auxiliam a análise de alguns elementos do caminho, mas há prevalência das equações de estimativa baseadas em dados de teste e na experiência.

A ASHRAE coletou e desenvolveu diversas equações de estimativa logarítmica para componentes de caminho em sistemas HVAC e, posteriormente, as publicou em seu manual *Algorithms for HVAC Acoustics (Algoritmos para a acústica de HVAC)*. (Felizmente, existem ferramentas

de software disponíveis para evitar que os analistas resolvam manualmente essas equações iterativas e repleta de cálculos.)

Uma análise acústica com base no modelo de origem-caminho-receptor pode auxiliar os projetistas de sistemas a redigir uma especificação com mais chance de atender à finalidade acústica e fornecer um “som de qualidade”. A partir dessa análise, o projetista conhecerá a atenuação do caminho determinada e poderá especificar diretamente a potência sonora máxima permitida do equipamento. Por exemplo, uma especificação de potência sonora típica para um condicionador de ar pode ser:

“Os níveis de potência sonora para a unidade devem ser determinados de acordo com a norma AMCA 300-95, e não devem exceder os valores na tabela a seguir nas condições de projeto ...”

Banda de oitava, Hz	Nível de potência sonora (não ponderado), dB re 1 μ W	
	Descarga	Entrada + Caixa
63	102	100
125	100	99
250	101	99
500	98	97
1000	95	95
2000	92	90
4000	90	87
8000	90	85

Conclusões

O som é um dos três principais ingredientes que contribuem para um ambiente predial confortável. As pré-condições para a especificação eficaz dos níveis de potência sonora são (a) análises acústicas do layout do sistema HVAC e construção do prédio, e (b) uma compreensão dos descritores de número único usados para definir a natureza acústica de um ambiente.

A inclusão do desempenho sonoro na especificação do equipamento deve sugerir automaticamente a realização de uma análise acústica. Idealmente, a análise deve ser realizada **antes** da elaboração da especificação. Em seguida, os requisitos acústicos podem ser incluídos em termos de potência sonora, facilitando uma comparação que considere elementos da mesma categoria dos produtos oferecidos por diferentes fabricantes.

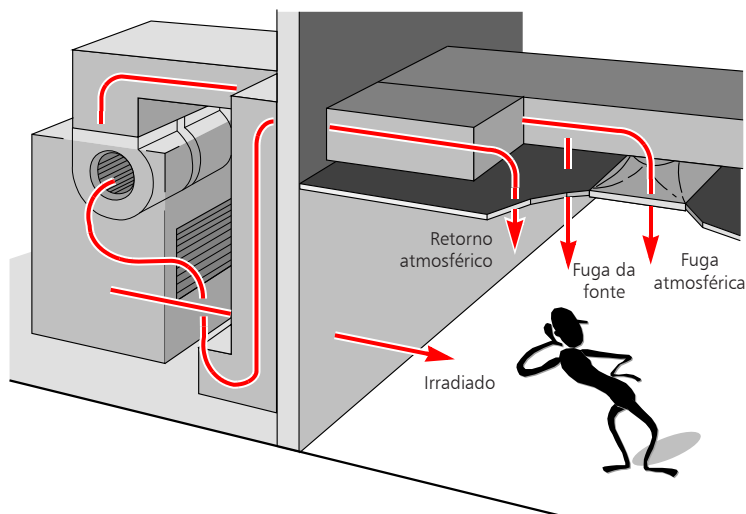


A omissão desta etapa significa que cada proponente precisará realizar sua própria análise ... e cada um fará suas próprias suposições a respeito de como a construção do edifício afetará essa análise. ■

Por Dave Guckelberger, engenheiro de aplicações, e Brenda Bradley, projetista de informações, The Trane Company.

Se quiser fazer um comentário sobre este artigo, envie uma nota para The Trane Company, Engineers Newsletter Editor, 3600 Pammel Creek Road, La Crosse, WI 54601, ou para <http://www.trane.com>.

Figura 5
Caminhos típicos do som



Como determinar a classificação de ruído RC ...

[Este trecho foi parafraseado do Capítulo 42, "Controle de Som e Vibração", do *Manual de Aplicações de HVAC da ASHRAE de 1991*.]

A classificação RC de um ruído é geralmente baseada em dados de nível de pressão sonora em frequências centrais de 31,5 a 4.000 Hz e é composta por dois descritores.

O primeiro descritor é um número que representa o nível de interferência da fala (SIL) do espectro e é obtido pela média aritmética dos níveis de ruído nas bandas de oitava de 500-, 1.000- e 2.000- Hz. O segundo descritor é uma letra que denota a "qualidade" do som, que pode ser subjetivamente descrito por um observador. Estas etapas descrevem como determinar uma classificação RC:

- 1 Trace o espectro de ruído da banda de oitava em um gráfico RC.
- 2 Calcule o SIL contabilizando a média aritmética dos níveis de pressão sonora nos centros das bandas de oitava de 500-, 1.000- e 2.000- Hz.
- 3 Desenhe uma linha com uma inclinação de -5 dB por oitava no intervalo de frequência de 31,5 a 4.000 Hz, passando por 1.000 Hz no SIL que foi calculado na Etapa 2. Essa

é a curva de referência para avaliar a qualidade do som do espectro.

- 4 Desenhe uma linha 5 dB acima da curva de referência que se prolonga de 31,5 a 500 Hz. Desenhe uma segunda linha 3 dB acima da curva de referência, prolongando-se de 1.000 a 4.000 Hz. O intervalo entre essas duas linhas e a curva de referência representa o desvio máximo permitido do espectro de ruído acima da curva de referência para receber uma classificação neutra (N).
- 5 Avalie a qualidade do som observando como o formato do espectro se desvia dos limites da curva de referência definida na Etapa 4. Use os critérios descritos abaixo para selecionar o descritor com letra adequado.
- 6 Atribua ao espectro uma classificação RC, ou seja, a parte numérica da classificação que corresponde ao nível da curva de referência no centro da banda de oitava de 1.000 Hz; em seguida, acrescente o descritor de letras determinado na Etapa 5.

Caracterize a qualidade subjetiva do ruído de fundo da sala com base nos seguintes critérios.

Neutro (N). Os níveis nas bandas de oitava centradas em 500 Hz e abaixo não devem exceder os níveis da banda de oitava do espectro de referência em mais de 5 dB em qualquer ponto do intervalo; os níveis nas bandas de oitava centradas em 1.000 Hz e acima não devem exceder o nível da banda de oitava do espectro de referência em mais de 3 dB em qualquer ponto do intervalo.

Estrondoso (R). O nível nas bandas de oitava centradas em 500 Hz e abaixo excede os níveis de banda de oitava do espectro de referência em mais de 5 dB em um ou mais pontos no intervalo.

Chiado (H). O nível nas bandas de oitava centradas em 1.000 Hz e abaixo excede o nível de banda de oitava do espectro de referência em mais de 3 dB em um ou mais pontos no intervalo.

Vibração perceptível gerada acusticamente (RV). A região sombreada com hachuras nas frequências de banda de oitava de 16 a 63 Hz em um gráfico RC indica os níveis de pressão sonora em que as paredes e o teto podem vibrar perceptivelmente — causando trepidações audíveis em portas de armário, quadros, luminárias de teto e outros móveis em contato com eles.