

RESSOADORES DE HELMHOLTZ EM BARREIRAS ACÚSTICAS: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO NA ATENUAÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO

Aline Lisot¹, Paulo F. Soares¹

¹Universidade Estadual de Maringá – UEM
(alinelisot@gmail.com, pfoares@uem.br)

Resumo

O presente trabalho constitui-se de um estudo relativo à utilização de ressoadores de Helmholtz em barreiras acústicas para atenuação do ruído de tráfego. Propõe-se que estas barreiras sejam construídas de peças cerâmicas moldadas de tal forma que reproduzam ressoadores de Helmholtz, sendo estes capazes de absorver o som em frequências específicas, conforme seu dimensionamento. Desenvolveram-se os ressoadores e, depois de testados em câmara reverberante, verificou-se que seus coeficientes de absorção atendiam às necessidades do projeto. Realizaram-se simulações com barreiras acústicas no ambiente do programa SoundPLAN[®]. Construíram-se e ensaiaram-se os mesmos tipos de barreiras na escala 1:5. Através da análise dos valores medidos e das simulações, verificou-se que a utilização dos ressoadores em barreiras acústicas traz acréscimos significativos na atenuação do ruído de tráfego nas áreas adjacentes na face das barreiras em que ocorre a geração do ruído.

Palavras-chave: barreiras acústicas, ressoadores de Helmholtz, controle de ruído, simulação de barreiras acústicas, ruído de tráfego.

Abstract

The present paper is a study on the use of the Helmholtz resonators in noise barriers to mitigate the traffic noise. The proposal is that these barriers are constructed of ceramic pieces shaped to reproduce Helmholtz resonators, which are able to absorb the sound in specific frequencies, as dimensions. The resonators were developed and tested in a reverberation room. It was verified that their absorption coefficients met the needs of the project. Simulations were made with noise barriers using the software SoundPLAN[®]. The same types of barriers have been constructed and tested on the scale 1:5. Through analysis of the measured values and simulations, it was found that the use of resonators to built noise barriers brings significant increases in the attenuation of the traffic noise in adjacent areas in face of obstacles where occurs the generation of the noise.

Keywords: noise barriers, Helmholtz resonators, noise control, simulation of noise barriers, traffic noise.

1 Introdução

No contexto atual dos espaços urbanos o ruído é reconhecido como um elemento de degradação ambiental e tem relação direta com a cultura e o cotidiano da sociedade. Paralelamente ao crescimento urbano de inúmeras cidades brasileiras ocorrido no último século, verificou-se o surgimento de problemas de cunho social e ambiental tal como o ruído proveniente do tráfego. A maior preocupação provém do fato de que este ruído é capaz de provocar efeitos danosos à saúde da população.

Buscam-se, portanto, intervenções no meio que possam diminuir a intensidade dos sons que atingem o receptor, a população em geral. A utilização de barreiras acústicas tem se difundido como uma alternativa para o controle de ruído.

No que se refere ao ruído de tráfego é importante salientar que este é de baixas e médias frequências, o que se traduz em uma grande capacidade de contornar obstáculos. Acredita-se que a melhor forma de melhorar o desempenho de barreiras acústicas destinadas à atenuação do ruído de tráfego seja a utilização de ressoadores de Helmholtz na sua execução. Os ressoadores são peças que têm a capacidade de absorver sons em frequências específicas, conforme o seu dimensionamento.

1.1 Barreiras acústicas

As barreiras acústicas foram construídas intuitiva e raramente desde a metade do século XX, quando o tráfego de veículos começou a aumentar. Somente no final dos anos 1960 a ciência acústica começou a validar a eficácia de barreiras acústicas projetadas nas adjacências de vias específicas [1].

O princípio básico de funcionamento das barreiras acústicas é que se obstrua a linha de visão entre fonte sonora e receptor e desta forma se interfira na trajetória das ondas sonoras. O próprio solo pode configurar-se como uma barreira acústica quando se elevar interferindo com a linha de visão [2].

Ao obstruir o trajeto da onda sonora, permite-se uma redução de aproximadamente 5dB. No entanto, ao construir-se barreiras mais altas, faz-se com que o som percorra uma trajetória maior antes de atingir o receptor e, desta forma, pode-se chegar a uma atenuação adicional de pelo menos 3dB [3].

Quando um obstáculo é posicionado na trajetória de avanço de uma onda sonora, se sujeita a onda a fragmentar-se em várias parcelas. Portanto, após a incidência da onda sonora em um obstáculo, o som emitido divide-se em som refletido, som absorvido, som transmitido, e som difratado.

Sabe-se que o som que atinge o receptor é aquele que, a partir da fonte, posicionada na frente da barreira, atinge o topo desta, sendo então curvado por difração para baixo, gerando uma zona de sombra acústica atrás da barreira, ou seja, na face da barreira oposta à geração do ruído [2]. Nesta zona é provável e espera-se que ocorra uma redução do Nível de Pressão Sonora (NPS) medido, principalmente nas frequências mais altas, sendo este fato relacionado com a geometria da barreira acústica.

Sabendo-se que a atenuação sonora por difração é menor nas baixas frequências testou-se o emprego de ressoadores de Helmholtz em barreiras acústicas para aumentar seu efeito atenuador.

1.2 Ressoadores de Helmholtz

Hermann Ludwing Ferdinand von Helmholtz (1821-1894) foi quem primeiro executou experimentos com objetos esféricos, de tamanho graduado, com um pescoço e um buraco para aproximar do ouvido e escutar o resultado da experiência. Foi ele quem conseguiu estimar a energia para cada frequência por meio da intensidade do som em diferentes ressoadores.

O ressoador de Helmholtz é um sistema absorvedor baseado na propriedade de dissipar energia em torno de uma frequência de ressonância a qual é função das características geométricas do sistema [5]. Consiste de uma passagem de ar que se movimenta e está conectada com uma quantidade de ar presa num volume. Esse volume pode ter infinitas formas: concha, garrafa, estrutura de um instrumento

musical, superfícies de paredes perfuradas. Quando o ar interior desses ressoadores entra em vibração para certa frequência de ressonância, pode dissipar a energia sonora transformando-a em energia mecânica, sob forma de atrito e funcionando, então, como absorvedor de som [6].

Para estimar a frequência de oscilação do ar nos ressoadores de Helmholtz (Figura 2), apresenta-se a Equação 1 [7].

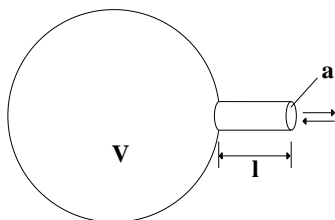


Figura 2 – Ressonador de Helmholtz [7]

$$f = \frac{c}{2 * \pi} \sqrt{\frac{a}{Vl}} \quad (1)$$

Onde f é a frequência do ressonador [Hz], a é a área do gargalo [m²], l é comprimento do gargalo [m], V é o volume do ressonador [m³], c é a velocidade do som no ar [m/s].

2 Caracterização do ruído de tráfego

Para a realização deste estudo primeiramente fez-se a caracterização do ruído de tráfego em uma região da cidade de Maringá, Estado do Paraná, onde o NPS gerado pelo tráfego de veículos é elevado e não existe qualquer proteção às edificações no seu entorno. Esta área localiza-se no campus sede da Universidade Estadual de Maringá e caracteriza-se por estar à margem da Avenida Colombo, avenida esta que cruza a cidade de leste a oeste em área urbana permitindo a continuidade de tráfego da Rodovia BR 376. No trecho estudado a Avenida Colombo recebe uma taxa de veículos da ordem de 33.223 veículos/dia sendo que aproximadamente 13% são veículos pesados [9].

Coletaram-se dados de NPS por frequência em banda de oitava em ponto localizado na calçada a um metro do meio-fio e um metro e vinte centímetros de altura. Para a coleta de dados dispôs-se de um microfone omnidirecional da Beringher conectado ao software TrueRTA™. Utilizou-se também um medidor de NPS modelo SdB02+ da 01dB® para conferência dos dados.

Na Tabela 1 apresenta-se o espectro coletado.

Tabela 1 – Espectro da fonte sonora

Freq [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
NPS [dB]	82,5	82,1	80,6	74,7	70,7	67,6	62,8	56,3

Observa-se, na Tabela 1, que os maiores valores de NPS medidos concentram-se entre as frequências de 63, 125 e 250 Hz. Este fato confirma a característica do ruído de tráfego de ter, nas frequências mais baixas, elevados NPS. Sabe-se que o ruído proveniente da fonte sonora caracterizada tem grande capacidade de difração. Uma barreira acústica dimensionada para absorver o ruído nas frequências em destaque possivelmente traria benefícios no que se refere à qualidade sonora dos ambientes próximos a tais fontes. Portanto, é interessante que se considere, além da atenuação proporcionada pela barreira devido à difração sonora, também a atenuação proporcionada pela absorção da barreira. Barreiras acústicas de ressoadores de Helmholtz apresentam-se como uma boa alternativa para tal aplicação.

3 Desenvolvimento dos ressoadores de Helmholtz e determinação do coeficiente de absorção sonora de Sabine

Com base nos valores obtidos no monitoramento de ruído optou-se por direcionar o dimensionamento do ressoador de Helmholtz para uma frequência entre 125 e 250 Hz. Esta será a frequência de oscilação do ressoador, ou seja, a frequência de maior absorção.

Sabe-se que utilizar modelos para estudos na área de acústica implica em assumir riscos quanto à qualidade dos resultados obtidos. No entanto, devido a fatores de ordem prática, foi necessário que se trabalhasse neste estudo com ressoadores em escala 1:5. Mesmo sabendo que os resultados não são fiéis à realidade entende-se que dão uma boa perspectiva do desempenho das peças em questão.

Por ocasião do estudo da forma do ressoador buscou-se formar um conjunto de uma passagem de ar suficientemente longa associada a um volume de ar interno que atendessem a esta necessidade. Além destas características determinou-se também a modulação que deveria ser seguida no assentamento dos ressoadores. As dimensões finais em centímetros da peça cerâmica em escala são apresentadas na Figura 3, juntamente com uma imagem da peça finalizada.

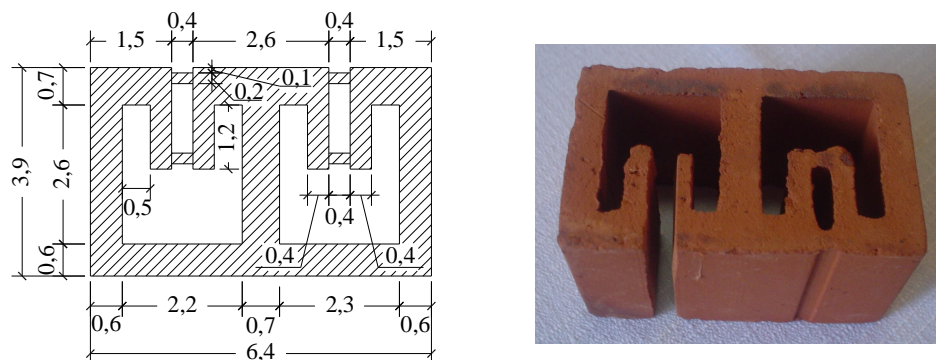


Figura 3 – Ressorador de Helmholtz em escala 1:5

Observando a Figura 3, vê-se que é possível criar dois ressoadores em uma única peça. No entanto, optou-se por fazer a abertura de somente um ressoador e assentar as peças intercalando estas aberturas. Esta conformação de construção da barreira permite um volume maior no interior do ressoador e assim pôde-se atingir a frequência de oscilação desejada. O volume considerado para o cálculo da frequência de oscilação dos ressoadores é o ilustrado por cada um dos retângulos apresentados na Figura 4.

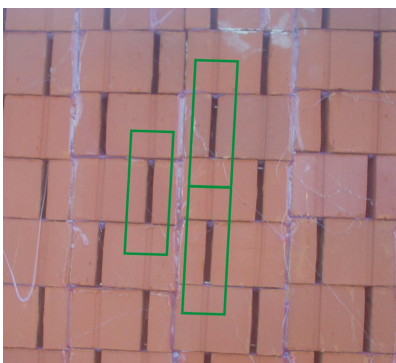


Figura 4 – Volume do ressoador

Desta forma calculou-se a frequência de oscilação do conjunto por meio da Equação 1 considerando a velocidade do ar à 20°C:

$$f = \frac{344}{2 * \pi} \sqrt{\frac{0,004}{0,0008 * 0,019}} = 888,2 \text{ Hz}$$

Como a peça está na escala 1:5, também se deve considerar esta escala para os comprimentos de onda.

Sabe-se que para o protótipo (barreira acústica em tamanho real) tem-se $\lambda_p = c/f_p$ e, para o modelo (barreira acústica na escala 1:5), $\lambda_m = c/f_m$. Se a escala do modelo é 1:5, então se pode afirmar o seguinte:

$$\frac{1}{5} = \frac{\lambda_m}{\lambda_p} \Rightarrow \frac{1}{5} = \frac{c}{f_m} * \frac{1}{c/f_p} = \frac{f_p}{f_m} \therefore f_p = \frac{f_m}{5}$$

Portanto a frequência calculada deve ser dividida por 5 (cinco), o que significa que se estará aumentando cinco vezes o comprimento de onda da onda sonora e desta forma ter-se-á a frequência de oscilação do protótipo. Logo, a frequência de oscilação de um ressonador de Helmholtz cerâmico em tamanho real seria de 177,6Hz, valor este que se encontra dentro da faixa de interesse para o ruído de tráfego monitorado.

3.1 Determinação do coeficiente de absorção sonora de Sabine

Determinou-se o coeficiente de absorção sonora de Sabine das peças desenvolvidas conforme a ISO 354 (Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room, 2003). O método deve ser aplicado em câmara reverberante, a qual tem as superfícies construídas de forma a maximizar o som refletido, com o intuito de gerar um campo difuso.

O ensaio consiste na colocação de uma amostra do material no piso da câmara reverberante e medição do tempo de reverberação com a amostra (T_{60}). Feito isto, retira-se a amostra e mede-se o tempo de reverberação da câmara sem a amostra (T'_{60}). Calcula-se então o coeficiente de absorção sonora de Sabine da amostra por meio da Equação 2 [2].

$$\alpha_{Sab} = 0,161 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{T_{60}} - \frac{1}{T'_{60}} \right) \quad (2)$$

Onde α_{Sab} coeficiente de absorção sonora de Sabine, V volume da câmara [m^3], S área da amostra [m^2], T_{60} tempo de reverberação com a amostra [s], T'_{60} tempo de reverberação sem a amostra [s].

A Equação 2 resulta da aplicação da fórmula de Sabine duas vezes, ou seja, *com* e *sem* a amostra no interior da câmara [2].

Considerando-se que a área da amostra exigida pela ISO 354 para a determinação do coeficiente de absorção sonora de Sabine de um material é de 12 m^2 , pode-se afirmar que a área necessária ao modelo na escala 1:5 será de $2,4 \text{ m}^2$. Esta consideração é feita a partir do equacionamento a seguir.

$$\lambda = \frac{L_{MODELO}}{L_{PROTÓTIPO}}, \text{ se } \lambda = \frac{1}{5} \text{ então } \frac{1}{5} = \frac{L_{MODELO}}{L_{PROTÓTIPO}} \therefore L_{PROTÓTIPO} = 5 * L_{MODELO}$$

A área da amostra testada foi de $2,57 \text{ m}^2$, atendendo ao necessário para esta situação. O painel foi testado em duas situações: com e sem vedação das juntas.

Também é recomendação da ISO 354 que o volume da câmara reverberante não seja inferior a 150 m^3 . A câmara utilizada tem um volume de $71,8 \text{ m}^3$. Considerando que as medições em câmara reverberante foram realizadas ensaiando modelos, pode-se também aplicar o fator de escala ao volume requerido para a câmara. Logo, a câmara acústica em questão atende às exigências do ensaio no que diz respeito ao seu volume.

Após as medições de tempo de reverberação na câmara reverberante, fez-se a aplicação da Equação 2 para o cálculo do coeficiente de absorção sonora de Sabine. Também se fez referência à escala dos ressoadores ao considerar os comprimentos de onda. No Gráfico 1 apresentam-se os coeficientes de absorção sonora de Sabine para os ressoadores em tamanho real.

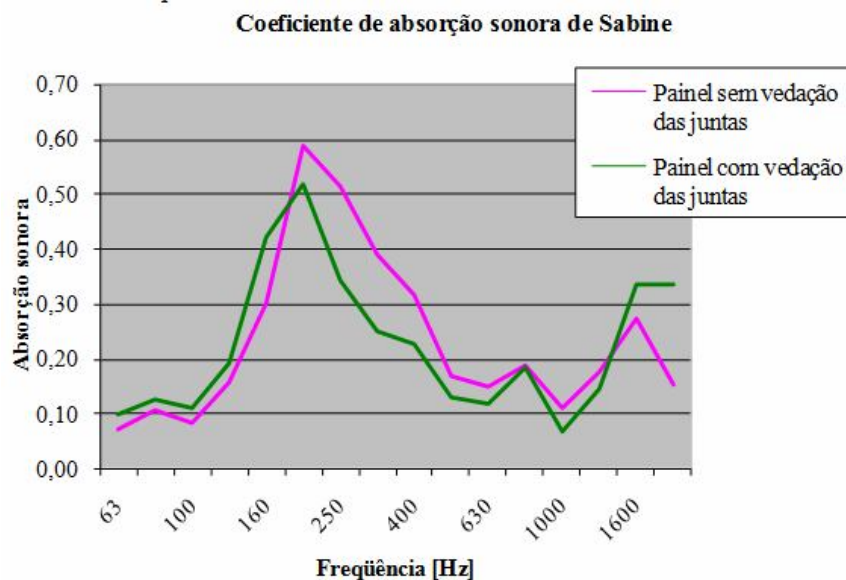


Gráfico 1 – Coeficientes de absorção sonora de Sabine para ressoadores em tamanho real

Observa-se no Gráfico 1 que em torno da frequência de 200 Hz ocorre um aumento significativo da absorção sonora dos ressoadores sendo isso mais acentuado para o painel de ressoadores sem vedação das juntas. Esta frequência aproxima-se bastante daquela calculada quando do dimensionamento do ressoador em escala. Isto significa que os ressoadores trabalham conforme esperado. Esta variação entre o valor da frequência de pico de absorção calculada e medida pode ser atribuída às variações nas dimensões dos ressoadores bem como a falhas na montagem do painel.

4 Construção de barreiras acústicas na escala 1:5 e avaliação do NPS resultante

As barreiras acústicas na escala 1:5 foram instaladas no campus sede da Universidade Estadual de Maringá. Foram construídas duas barreiras distando 9,5m (nove metros e cinquenta centímetros) uma da outra: uma com peças cerâmicas sem “corte”, a partir daqui denominadas “tijolos simples”, e outra com os “ressoadores”. As barreiras construídas têm aproximadamente 2,4m (dois metros e quarenta centímetros) de extensão por 1,2m (um metro e vinte centímetros) de altura.

A construção das barreiras simples e de ressoadores seguiu o mesmo procedimento. Primeiramente distribuíram-se quatro barras de aço de 8 mm de diâmetro ao longo da extensão de cada barreira. As barras tinham 1,60m (um metro e sessenta centímetros) de altura cada uma. Cada barra foi fixa verticalmente no solo sendo que cerca de 0,30m (trinta centímetros) de sua extensão ficou sob o solo. Estas barras tinham a função de dar estabilidade às barreiras. Em seguida distribuiu-se uma camada de massa de vidro para atuar como base e vedar a passagem de ondas sonoras sob as barreiras já que elas foram construídas sobre terreno gramado com pequenas irregularidades. Na Figura 6 observam-se as barras de ferro utilizadas e as primeiras fiadas de tijolos sendo assentadas sobre a massa de vidro com cola quente.



Figura 6 – Início da construção das barreiras acústicas

Chama-se atenção ao fato de que na barreira simples fez-se a amarração dos tijolos, enquanto na barreira de ressoadores optou-se por não fazê-la devido a imperfeições nas peças provenientes de sua produção artesanal. Desta forma, preservou-se a correta junção de volumes entre uma peça e outra na modulação dos ressoadores. A Figura 7 mostra detalhe da construção da barreira de ressoadores onde se observa o posicionamento das peças sem amarração. Também nesta figura apresenta-se a forma de vedação e regularização do topo das barreiras com a utilização de fita adesiva e uma camada de massa de vidro

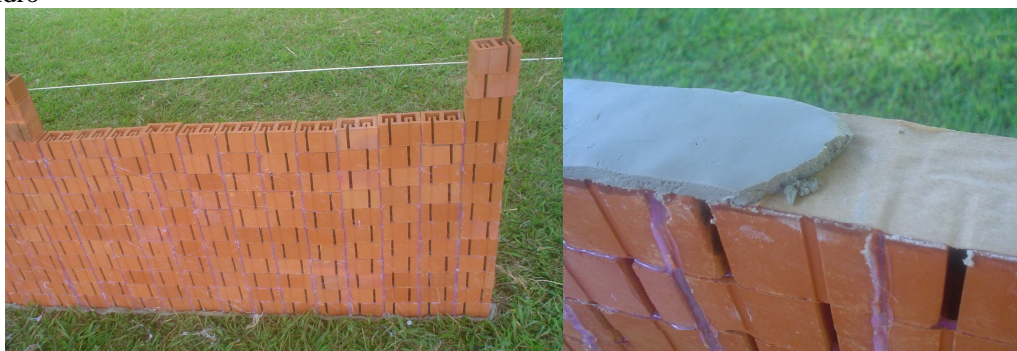


Figura 7 – Construção das barreiras acústicas

A Figura 8 apresenta as duas barreiras: à esquerda a barreira simples e, à direita, a barreira de ressoadores.



Figura 8 – Barreiras acústicas

A coleta de dados para avaliação da atenuação proporcionada pelas barreiras envolveu seis pontos de medição. Dispôs-se de dois medidores de NPS da 01dB[®], sendo um com filtro de oitava, e de um microfone omnidirecional da Beringher de ½” conectado ao programa TrueRTA[™]. Coletaram-se dados em banda de oitava sempre com os dois aparelhos simultaneamente, sendo que o microfone manteve-se por todo o período da medição no ponto P1 e os medidores de NPS fizeram o caminhamento entre os outros pontos de coleta de dados (Figura 9).

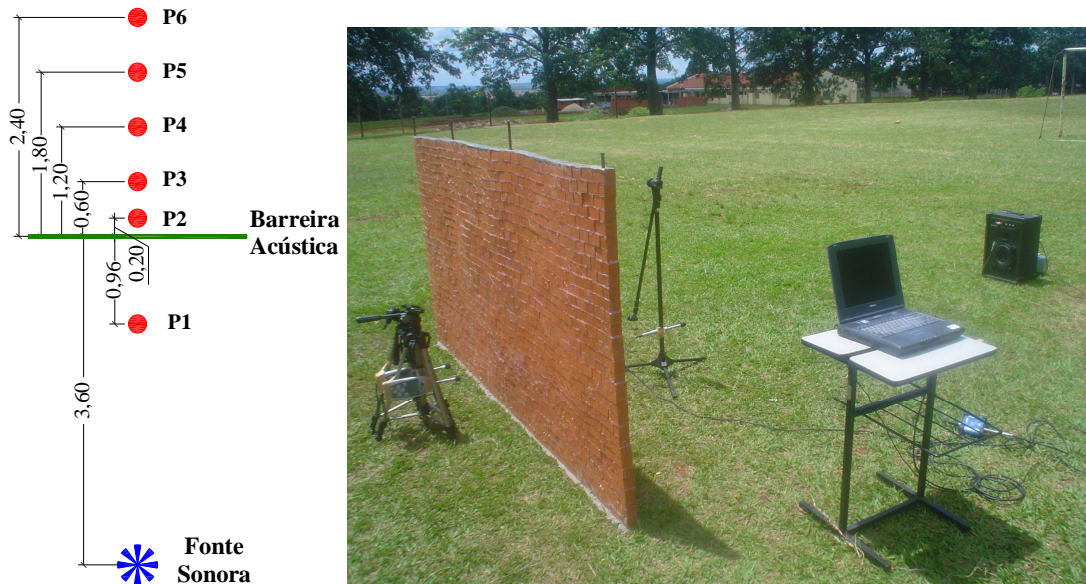


Figura 9 – Pontos de coleta de dados para análise das barreiras acústicas na escala 1:5 e esquema de medição de ruído com microfone omnidirecional no ponto P1 e medidores de NPS no ponto P2

Salienta-se que, para a barreira acústica de ressoadores de Helmholtz, repetiu-se o procedimento de duas formas: a primeira, com os ressoadores voltados para a fonte sonora e, a segunda, com os ressoadores voltados para os pontos P2, P3, P4, P5 e P6. Para isto, por ocasião desta medição, inverteu-se o lado da barreira em que esses pontos, além do ponto P1 e da fonte sonora, estavam localizados.

Desta forma tornou-se possível avaliar a redução do ruído conforme ocorria o distanciamento da fonte sonora, sendo esta, no caso em questão posicionada a 3,60 m (3 metros e sessenta centímetros) da barreira acústica. Esta distância faz referência à distância de uma barreira acústica, locada à margem de uma via de tráfego, até o centro da via, considerando a escala 1:5 do modelo. As distâncias de locação dos pontos P1 ao P6 também consideram tal escala.

A fonte sonora utilizada foi um amplificador cujo alto-falante ficou posicionado a 0,24m (vinte e quatro centímetros) de altura. Para que esta medida fosse correta, considerando a escala 1:5 e a fonte sonora como o tráfego de veículos, deveria ter sido de aproximadamente 0,10m (dez centímetros). No entanto, como não foi possível adaptar a altura do alto-falante, optou-se por realizar o ensaio sem fazer a correta equivalência. Através deste alto-falante emitiu-se ruído rosa para a efetivação dos ensaios.

Para cada combinação de posição do microfone omnidirecional e dos medidores de NPS coletaram-se os dados por quatro minutos. A Tabela 2 traz os valores coletados por ocasião destas medições.

Tabela 2 – Atenuação sonora verificada: valores corrigidos

Frequência [Hz]	6,3	12,6	25	50	100	200	400	800	1600
Barreira acústica simples									
NPS [dB] 1m	0,2	-1,1	11,7	12,9	16,5	21,7	21,5	33,9	31,0
NPS [dB] 3m	0,9	4,2	10,0	11,7	15,3	21,2	21,0	29,8	30,6
NPS [dB] 6m	-0,1	-1,6	8,8	10,2	15,9	22,5	18,9	27,1	29,5
NPS [dB] 9m	1,1	2,7	9,9	9,9	15,3	24,7	20,6	30,5	27,8
NPS [dB] 12m	0,0	2,0	10,2	10,4	12,8	25,0	21,1	30,3	28,3
Barreira acústica de ressoadores de Helmholtz voltados para a fonte sonora									
NPS [dB] 1m	-0,1	2,4	13,4	10,9	19,5	22,4	21,5	33,3	32,0
NPS [dB] 3m	-1,1	-1,8	11,5	12,1	17,2	20,3	23,3	32,6	31,3
NPS [dB] 6m	-4,5	1,4	10,7	10,5	16,9	24,6	20,2	30,2	29,2
NPS [dB] 9m	-1,0	3,0	11,0	9,1	17,2	23,8	22,4	28,2	26,3
NPS [dB] 12m	-2,6	1,4	10,6	9,6	15,0	22,0	22,3	29,9	26,9
Barreira acústica de ressoadores de Helmholtz voltados para os receptores									
NPS [dB] 1m	3,5	1,0	11,6	11,3	15,8	20,0	23,1	31,3	33,5
NPS [dB] 3m	5,5	2,3	11,6	13,3	18,3	19,8	22,7	30,2	30,6
NPS [dB] 6m	6,2	2,1	10,4	12,8	18,6	21,1	21,8	30,0	29,7
NPS [dB] 9m	0,9	-1,6	10,3	10,9	15,7	22,1	23,3	31,6	29,7
NPS [dB] 12m	0,7	0,4	10,0	10,9	16,2	23,4	23,6	31,3	30,5

Analisando a Tabela 2, percebe-se que, para as frequências a partir de 200 Hz ocorre uma atenuação mais acentuada em relação às frequências mais baixas. No entanto, não há uma frequência de destaque como se esperava ao medir-se a atenuação proporcionada por barreiras construídas com ressoadores de Helmholtz, sejam eles voltados para a fonte ou para os receptores. A partir de 800 Hz a atenuação verificada foi ainda maior, mas com pouca variação entre a atenuação proporcionada pela barreira simples e pela barreira de ressoadores, considerando-se a análise desta última com os ressoadores voltados para a fonte e para os receptores.

5 Simulações das barreiras acústicas no software SoundPLAN®

O software SoundPLAN® permite que se criem situações, sejam elas reais ou de projeto, e, em uma locação virtual, se descreva o comportamento de ondas sonoras no meio criado. Foi utilizado nesta pesquisa para a simulação do desempenho de barreiras acústicas construídas com tijolos cerâmicos e com ressoadores de Helmholtz na área de estudo.

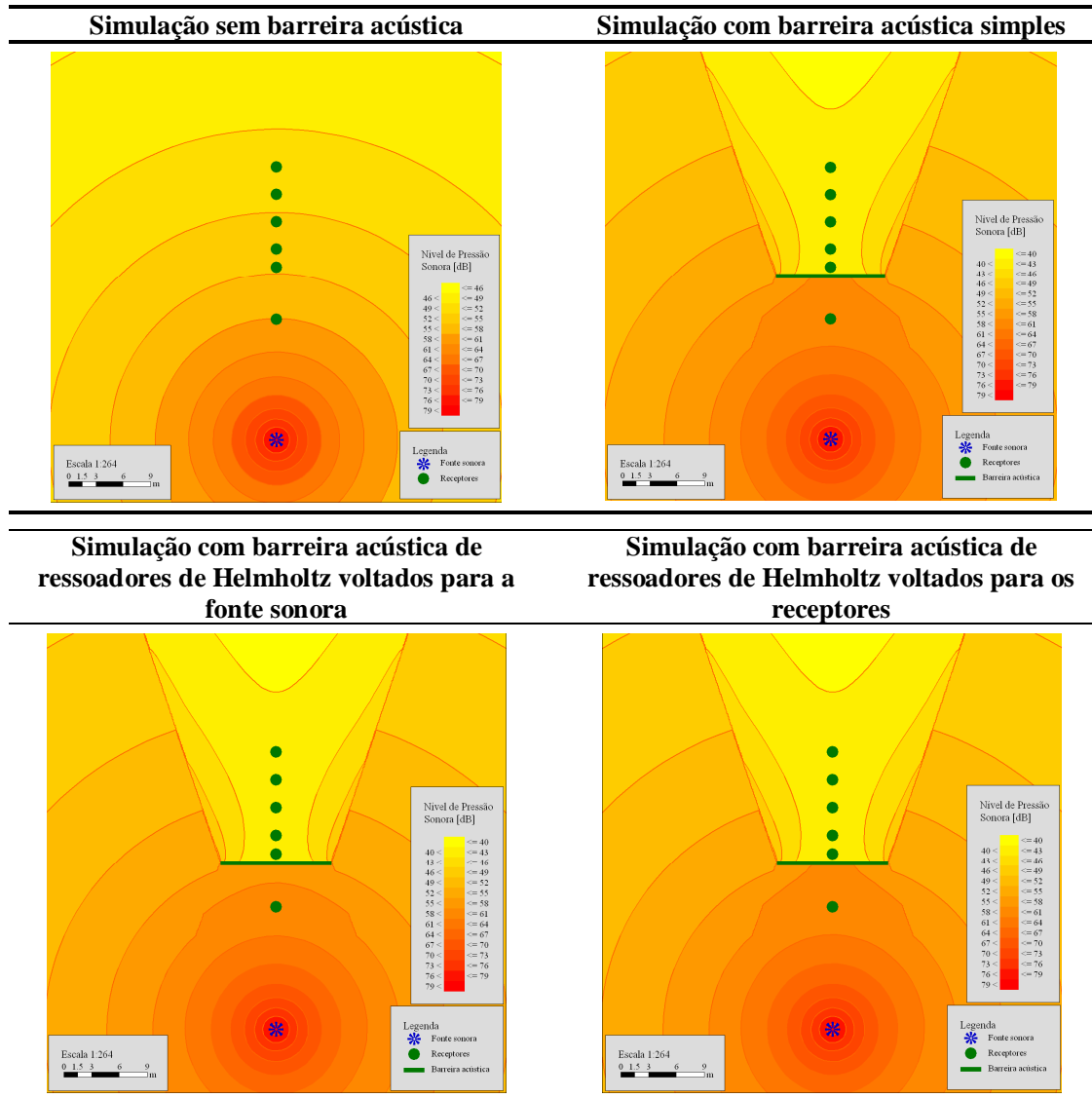
Para tanto, primeiramente inseriu-se no ambiente do programa o mapa da área de estudo. Após inseriram-se as barreiras, fonte sonora e receptores em tamanho real. Adotou-se esta medida para não ocorrerem acúmulos de erros, ou seja, a simulação em si, não reflete a realidade como um todo e, fazer-se simulação com elementos em escala traria maior incerteza aos resultados. Também se conferiram características de absorção ao solo, o qual é recoberto de grama. Utilizou-se fonte sonora pontual emitindo ruído rosa, conforme medições efetuadas com barreiras na escala 1:5.

As simulações obedeceram à seguinte ordem: sem barreira acústica; com barreira acústica simples; com barreira de ressoadores sendo estes voltados para a fonte sonora; com barreira de ressoadores estando estes na face da barreira oposta à geração do ruído.

À barreira simples foram conferidas as características de absorção sonora de alvenaria não rebocada, valores estes disponíveis na biblioteca do software. Já à barreira de ressoadores foram conferidos os coeficientes de absorção sonora determinados em ensaio em câmara reverberante.

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados obtidos nas simulações.

Tabela 3 – Resultado das simulações realizadas



Como se pode observar na figura “*simulação sem barreira acústica*” na Tabela 3, devido ao emprego de fonte sonora pontual a propagação sonora dá-se de forma radial. Desta mesma forma verifica-se a atenuação sonora conforme ocorre o afastamento da fonte sonora. Os valores desta simulação aproximam-se dos valores monitorados nesta área de estudo.

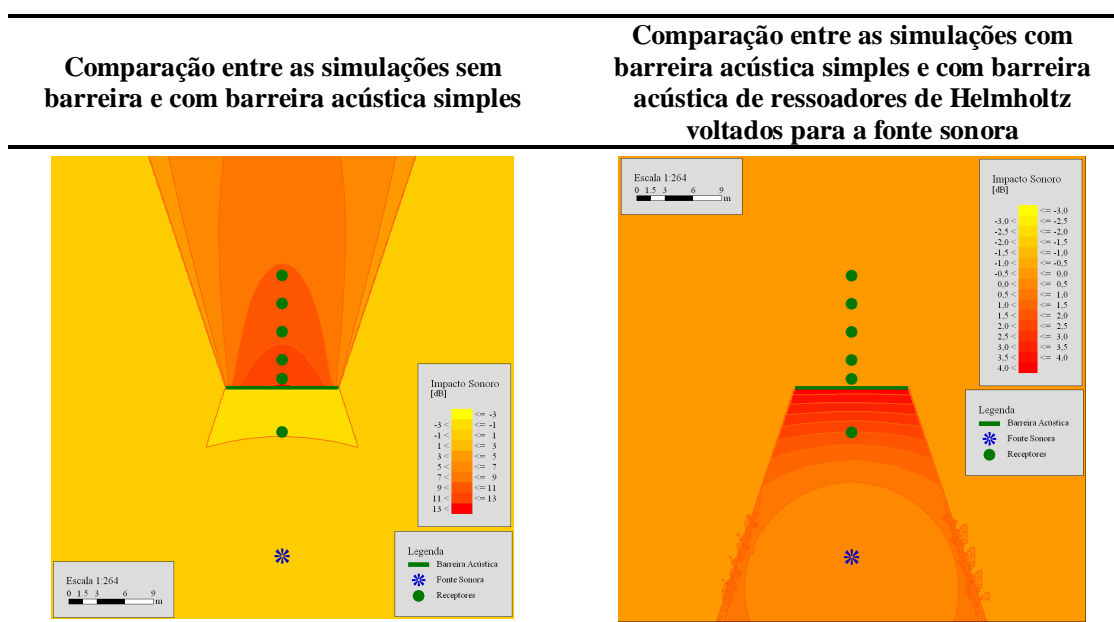
Na figura “*simulação com barreira acústica simples*”, fica bastante claro o efeito atenuador da barreira acústica. Na face da barreira voltada para a fonte sonora, observa-se um aumento do NPS, o que se deve às reflexões das ondas sonoras incidentes na barreira.

Observando a figura “*simulação com barreira acústica de ressoadores de Helmholtz voltados para a fonte sonora*” fica nítida a redução do NPS na face da barreira voltada para a fonte sonora, ou seja, na face onde estão as aberturas dos ressoadores. Isso ocorre devido à absorção proporcionada por eles. Os demais valores mantêm-se próximos aos valores da simulação com barreira acústica simples.

Verifica-se que na figura “*simulação com barreira acústica de ressoadores de Helmholtz voltados para os receptores*” pouco é alterado em relação à barreira simples. Ocorrem apenas pequenas mudanças na inclinação das curvas que dividem as faixas de NPS.

A Tabela 4 traz as comparações efetuadas entre as simulações.

Tabela 4 – Comparações entre as simulações



Com a figura “*comparação entre as simulações sem barreira e com barreira acústica simples*” confirma-se que o posicionamento de uma barreira acústica na trajetória das ondas sonoras permite a configuração de uma região de sombra acústica. Obteve-se uma redução do ruído de até 13dB.

Conforme se verifica na figura “*comparação entre as simulações com barreira acústica simples e com barreira acústica de ressoadores de Helmholtz voltados para a fonte sonora*”, a barreira com ressoadores de Helmholtz voltados para a fonte sonora permite uma redução do ruído na face voltada à geração do mesmo. Neste caso obtiveram-se até 4dB de atenuação.

Observa-se que as operações de comparação entre duas simulações foram efetuadas no ambiente do programa por meio de comandos de subtração de níveis sonoros.

6 Conclusões

Os ensaios efetuados com os ressoadores em câmara reverberante demonstraram que as peças foram corretamente dimensionadas quanto ao seu coeficiente de absorção sonora de Sabine, já que as variações verificadas devem-se, principalmente, à produção artesanal dos ressoadores.

Um ponto de interesse na caracterização dos ressoadores é a possibilidade de ocorrerem duas frequências de oscilação. Uma mais grave e com impacto de maior proporção na absorção sonora e, outra mais aguda, com absorção menos acentuada do que a primeira, no entanto significativa no conjunto. Sugere-se um estudo mais detalhado neste sentido, pois a confirmação desta possibilidade permitiria o dimensionamento de ressoadores para a absorção de duas frequências simultaneamente.

Nos que diz respeito aos testes realizados com os modelos, concluiu-se que, as inúmeras simplificações implícitas em um modelo, especialmente em ensaios acústicos, podem mascarar os resultados. Acredita-se que este foi o principal motivo de não terem sido coletados dados conclusivos no monitoramento das barreiras na escala 1:5.

As simulações efetuadas com o programa SoundPLAN® permitiram determinar as regiões de ação dos ressoadores, ou seja, as regiões de aumento da absorção sonora e, portanto, da diminuição dos Níveis de Pressão Sonora. Desta forma concluiu-se que barreiras acústicas construídas com ressoadores de Helmholtz voltados para a fonte sonora proporcionam uma redução significativa do ruído nesta face da barreira. Este fato conduz à utilização deste tipo de barreira acústica em locais com fluxo de pedestres, terminais ferroviários e rodoviários, pontos de ônibus e túneis. Observa-se que, conforme ensaios realizados em câmara reverberante, os ressoadores de Helmholtz desenvolvidos absorvem com mais eficácia frequências em torno dos 200 Hz. Isso favorece o emprego dos ressoadores em ambientes expostos ao ruído proveniente do tráfego de veículos, já que este se caracteriza por ser de baixas a médias frequências, trazendo benefícios em relação ao conforto acústico de usuários de áreas marginais a vias de tráfego intenso.

Verificou-se que, se há a intenção de melhorar a qualidade acústica de ambientes por meio da utilização de barreiras acústicas estando estes ambientes na face da barreira oposta à geração do ruído, é necessário que a barreira esteja próxima aos receptores.

Agradecimentos

À Universidade Estadual de Maringá e ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

À Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Referências

- [1] Wikipédia, A enciclopédia livre. *Barriera antirumore*. Disponível em: <http://it.wikipedia.org/wiki/Barriera_antirumore> Acesso em: 12 abril 2008.
- [2] Bistafa, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*, Edgard Blücher, São Paulo, 2006.
- [3] Klingner, R. E.; McNerney, M. T.; Busch-Vishniac, I. *Design guide for highway noise barriers – Research Report 0-1471-4*. Texas Department of Transportation e U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Austin, 2003.
- [4] Hendriks, R. *Technical Noise Supplement*. Office of Transportation Laboratory, Caltrans, Sacramento, CA, 1998.
- [5] Santos, J. L. P. dos. *Estudo do potencial tecnológico de materiais alternativos em absorção sonora*. Editora da UFSM, Santa Maria, 2005.
- [6] Silva, P. *Acústica arquitetônica & condicionamento de ar*. 4ª edição. EDTAL – Empresa Acústica Ltda, Belo Horizonte, 2002.
- [7] Henrique, L. L. *Acústica Musical*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2002. 1130p.
- [8] Purpur, J. G. *Controle do tráfego de veículos em Maringá*. Secretaria dos Transportes/Prefeitura Municipal de Maringá/JVG-Consultoria e Assessoria Ltda, Maringá, 1999.