

Absorção de Ruído de Baixas Frequências Usando Tijolos de Cavidade

EDUARDO GIAMPAOLI

Divisão de Higiene do Trabalho - Fundacentro

Cx. P. 11484 - São Paulo

Este trabalho apresenta o estudo sobre a eficiência na absorção de ruído de baixa frequência de blocos ou tijolos com cavidade, quando transformados em ressonadores de Helmholtz. Entre outros aspectos, é verificada a influência da porosidade dos referidos tijolos e da área da abertura do ressonador sobre a eficiência de absorção acústica. Também é estudado o fenômeno de acoplamento interno e externo entre dois ou mais ressonadores atuando simultaneamente.

Introdução

Este estudo apresenta os principais resultados obtidos em um trabalho de dissertação de Mestrado[1], desenvolvido no Laboratório de Vibrações e Acústica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. O objetivo da pesquisa é utilizar os blocos ou tijolos com cavidade, encontrados no mercado nacional, como eficientes absorvedores de ruído de baixa frequência. Para este fim, estes blocos ou tijolos são transformados em ressonadores de Helmholtz, através de orifícios ou fendas que interliguem as cavidades existentes no interior destes elementos, com o ambiente externo. Para avaliar suas características, a técnica de medição adotada foi a proposta por Chu[2], que utiliza um único microfone e um analisador digital (FFT) de dois canais, e fornece curvas de absorção com boa resolução e confiança. No Brasil esta técnica foi desenvolvida por Giampaoli e Gerges[5].

Blocos de Concreto como Ressonadores de Helmholtz

Para este estudo foram preparadas duas amostras, feitas com o mesmo tipo de bloco de concreto; a amostra I tendo uma fenda retangular com $t=12\text{mm}$ e $h=130\text{mm}$, a amostra II tendo uma fenda retangular com $t=11\text{mm}$ e $h=130\text{mm}$. O tipo de bloco de concreto utilizado, a disposição das fendas nas amostras e o croqui da montagem para medição são mostrados na figura 1.

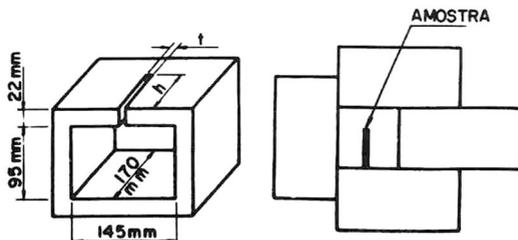


Figura 1: Bloco de concreto utilizado no estudo, disposição da fenda e sistema de montagem para medição.

As frequências de ressonâncias previstas teoricamente para as amostras I e II são respectivamente 182Hz e 177Hz segundo Kinsler[3], 229Hz e 221Hz segundo Junger[4] (ver tabela 1 e fig.2). Conforme referido anteriormente foi usada a técnica de um microfone e um analisador digital de frequência FFT, de dois canais, para medição de coeficiente de absorção. O aparelho de ondas estacionárias e a instrumentação utilizada nesta técnica, são apresentadas no trabalho de Giampaoli e Gerges[5].

As curvas de coeficientes de absorção das duas referidas amostras, foram obtidas, cobrindo a banda de frequência contida entre 0 Hz e 400Hz.

As medições da amostra II foram repetidas, após a mesma ter sido pintada, através de banhos de imersão em tinta latex a base de PVA.

Medição	Número da Amostra	Fenda Retangular(mm)	Picos de Frequência (Hz)	Absorção α_{max}	Larg. pico (Hz)
1.1	I	12x130	225	0,98	246
1.2	II	11x130	224	1,00	$\simeq 400$
1.3	II (pintada)	11x130	205/208	0,80	95

Tabela 1: Dados obtidos com as amostras I e II

A título de ilustração a figura 2 mostra as curvas obtidas nas medições 1.2 e 1.3. Comparando-se as frequências de ressonância determinadas experimentalmente, para amostras I

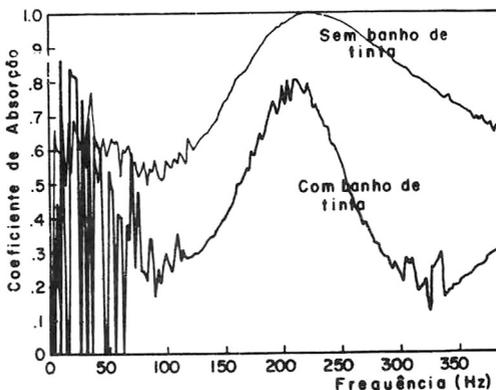


Figura 2: Coeficiente e absorção da amostra II, com e sem pintura.

e II sem pintura, com as previstas teoricamente, verifica-se que estão mais próximas dos valores obtidos pela expressão proposta por Junger. As diferenças observadas, que são de no máximo 3%, podem ser consideradas aceitáveis, uma vez que os resultados podem ser influenciados pelas pequenas variações nas dimensões das amostras, próprias do processo de fabricação dos blocos, e pelas dificuldades em se alcançar um ajuste fino na execução da fenda, devida as características e heterogeneidade do material que constitui as amostras. Da mesma forma, a resolução adotada na discretização do sinal ($\Delta f=2,44\text{Hz}$), durante sua análise digital, fornece a localização das

frequências com precisão de mais ou menos 1% .

Foram determinados ainda, o valor de pico do coeficiente de absorção, α_{max} , na frequência de ressonância do ressonador, e a largura desse pico de absorção, que para fins comparativos foi definida como sendo a banda de frequência na qual o coeficiente de absorção, na região do pico, mostra-se igual ou superior a 50% .

A amostra I apresentou $\alpha_{max} = 0,98$ e a largura de pico da ordem de 250Hz. Na amostra II obteve-se $\alpha_{max} = 1,00$ e a largura do pico entorno de 400Hz. Tendo-se como meta a eficiência na absorção sonora, os resultados obtidos podem ser considerados altamente positivos.

É importante ressaltar que as paredes deste tipo de bloco utilizado, possuem uma elevada porosidade pois, verificou-se que podem ser atravessadas por fluxo de ar, com relativa facilidade. Esta porosidade certamente confere a este tipo de bloco de concreto, propriedades de um absorvente acústico, independente deste ser ou não transformado num ressonador. A pintura da amostra II, por imersão em latex, foi uma tentativa para verificar esta hipótese, uma vez que desta forma eliminou-se completamente a porosidade do material.

A medição da amostra II, após a referida pintura, mostrou acentuada variação nos parâmetros estudados. A frequência de ressonância caiu para valores na faixa de 205 a 208Hz, o valor do pico do coeficiente de absorção foi reduzido para 0,80 e a largura do pico atingiu apenas 95Hz.

Fica evidente a relevante influência da porosidade, ou seja, da absorção sonora do material, na eficiência do ressonador. A simples eliminação desse parâmetro foi suficiente para promover uma queda de 20% no pico de absorção e estreitar a largura do pico para um valor inferior a 25% do original.

Igualmente significativa é o efeito desta porosidade na frequência de ressonância do sistema, que após a pintura alcançou valores com apreciável diferença em relação aos previstos teoricamente por Junger[4]. Embora Junger não faça referências específicas sobre a porosidade das amostras estudadas, é importante ressaltar, no entanto, que a expressão matemática proposta para o cálculo da frequência de ressonância, como destaca Junger, é indicada para grandes fendas retangulares em ressonadores de blocos de concreto. Acredita-se, portanto, que a expressão seja válida, apenas, quando considerados os blocos de concreto na forma como são originalmente encontrados no mercado.

Blocos Ressonadores para Frequências Muito Baixas

Utilizando-se novamente o tipo de bloco ilustrado na figura 1, foram feitas medições do coeficiente de absorção da amostra sem nenhuma abertura e também com 1,2 e 3 orifícios circulares, todos com 8mm de diâmetro. A tabela 2 contém os valores previstos teoricamente segundo Kinsler[3] e Junger[4], para as frequências de ressonância e os dados obtidos experimentalmente.

Os picos de absorção obtidos não revelaram uma elevada eficiência em termos de absorção sonora, já que apresentam valores relativamente próximos ao obtido na curva de absorção, própria do bloco de concreto estudado (ver medição 2.1). Por esta razão e por se estar próximo ao limite inferior da faixa de frequência de uso do sistema de medição, os referidos picos mostram-se bastante largos e com certas irregularidades, não possibilitando a determinação da exata frequência de ressonância. No entanto, pode-se afirmar com certeza que, nos três casos analisados, a frequência no pico de absorção é bem superior a prevista teoricamente. Ao que tudo indica, a porosidade do bloco de concreto, neste caso, comprometeu a eficiência do ressonador, no que tange a conseguir um pico de absorção bem definido e com α_{max} elevado, na frequência de interesse.

Em função desses resultados descritos, efetuou-se novas medições com a amostra II, anteriormente referida, que foi pintada através de banhos de imersão em tinta latex. Determinou-se o coeficiente de absorção da referida amostra, primeiramente com fenda totalmente fechada e, em seguida, variando-se a área da fenda, que teve sua largura mantida constante em 11mm e seu comprimento assumindo valores de 5mm, 10mm e 20mm. A tabela 3 contém as previsões teóricas para as frequências de ressonâncias e as principais informações extraídas das curvas obtidas.

Esta série de medições mostra resultados significativamente mais positivos que os alcançados na

Medição	número de furos abertos	Freq. esperada Kinsler (Hz)	Freq. esperada Junger (Hz)	pico de Freq. medido (Hz)	absorção α_{max}
2.1	sem	orifícios	abertos	entre 160a220	$\approx 0,41$
2.2	1	47	51	entre 120a185	$\approx 0,46$
2.3	2	64	70	entre 120a165	$\approx 0,53$
2.4	3	75	85	entre 120a155	$\approx 0,60$

Tabela 2: Dados dos blocos ressonadores para frequências muito baixas

Medição	Fenda retangular (mm)	Freq. esperada Kinsler (Hz)	Freq. esperada Junger (Hz)	pico de Freq. medido (Hz)	absorção α_{max}	Largura de pico (Hz)
3.1	11x5	49	53	41	0,81	*
3.2	11x10	66	73	61	0,92	*
3.3	11x20	88	100	85	1,00	44

Tabela 3: Dados obtidos com a amostra II pintada

* não está claramente definida na curva.

etapa anterior. Observando-se a tabela 3 constata-se que, neste caso, foi efetivamente conseguido ressonadores que apresentam picos de absorção em frequências muito baixas.

Neste estudo de ressonadores de blocos de concreto para frequências muito baixas, verifica-se que os resultados pretendidos e não alcançados, com os blocos de concreto em sua forma original, foram satisfatoriamente atingidos com esses blocos totalmente banhados com tinta latex. A porosidade dos blocos de concreto confirma-se, portanto, como um parâmetro de fundamental importância no desenvolvimento dos tijolos ressonadores, que necessita ser adequadamente controlado, em função dos objetivos a serem alcançados.

Dois Blocos Ressonadores Atuando Simultaneamente

A figura 3 ilustra o bloco de concreto utilizado neste estudo. Os ressonadores estão identificados pelas letras A e B, sendo que o ressonador A possui uma única fenda com 126mm de comprimento por 10mm de largura e o ressonador B apenas uma fenda com 30mm de comprimento por 11mm de largura.

Na medição do ressonador A, atuando isoladamente, determinou-se uma frequência de ressonância da ordem de 20Hz abaixo do valor previsto através da expressão de Junger[4], que tem-se mostrado muito precisa para blocos de concreto em seu estado original (sem pintura), conforme verificado nos experimentos anteriores. Para o ressonador B também atuando isoladamente, o pico de absorção confunde-se com a região de incerteza da curva de absorção, tornando-se difícil determinar a sua frequência de ressonância. Com os dois ressonadores atuando simultaneamente, observa-se um único pico de absorção, na frequência de 159Hz, ou seja, mais que 20Hz abaixo do

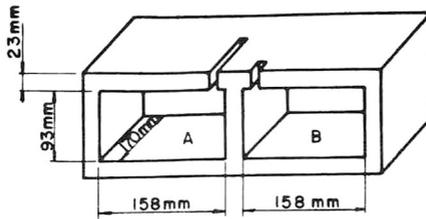


Figura 3: Bloco de concreto com duas cavidades transformadas em ressonadores.

pico obtido para o ressonador A, quando atuando isoladamente.

A tabela 4 reúne as principais informações contidas nas curvas obtidas neste estudo.

Medição	Fenda aberta (mm)	Condição das cavidades	Freq. esperada Junger (Hz)	Pico de freq. medido (Hz)	absorção α_{max}
4.1	10x126	A e B *	201	178/181	0,94
4.2	11x30	A e B *	114	indefinido	-
4.3	10x126 11x30	A e B *	201 114	159	0,98
4.4	10x126	A * B **	201	198/203	0,97

Tabela 4: Dados relativos ao bloco com duas cavidades.

* = vazias

** = c/ areia

Repetindo-se a medição do ressonador A, desta vez com a cavidade do ressonador B totalmente cheia de areia, verifica-se que a frequência do pico de absorção, coincide com a prevista teoricamente, através da expressão proposta por Junger[4].

Uma importante conclusão pode ser extraída a partir destas medições. Constata-se que a elevada porosidade das paredes que constituem o ressonador, possibilita um acoplamento entre as duas cavidades que compõem o bloco de concreto usado neste estudo.

Deve-se ressaltar que o efeito observado no ressonador A, foi devido ao acoplamento ocorrido em, apenas, uma única face desse ressonador, já que a avaliação foi feita com as demais faces, completamente bloqueadas pela base de concreto usada no sistema de medição. No entanto, na prática, os blocos estão assentados uns sobre os outros compondo uma parede de ressonadores. Nestas condições, excetuando-se a face com fenda, que estará voltada para a fonte sonora, as outras cinco faces poderão interagir com outro ambiente ou com as cavidades dos blocos adjacentes. Portanto, em uma situação real de utilização desses blocos ressonadores, é possível ocorrer acoplamento a níveis que possam comprometer seriamente a eficiência do conjunto de ressonadores.

Ressonadores com Frequências de Ressonância Distintas

Efetuu-se medição de dois ressonadores atuando simultaneamente, projetados com distintas frequências de ressonância mas, de valores próximos entre si. Para este estudo foi utilizado um tijolo cerâmico com duas de suas cavidades transformadas em ressonadores, fazendo-se um único orifício em cada uma delas, conforme ilustra a figura 4.

A distância entre os centros dos orifícios foi mantida constante em 45 mm. O diâmetro do orifício "a" ficou fixo em 10mm e o do orifício "b" foi inicialmente ajustado em 8mm, sendo em seguida, progressivamente aumentado. O orifício C foi montado fechado. Assim, determinou-se os cursos de absorção do sistema acoplado, estando as frequências de pico dos dois ressonadores, com valores cada vez mais próximos entre si. A tabela 5 reúne os principais dados obtidos.

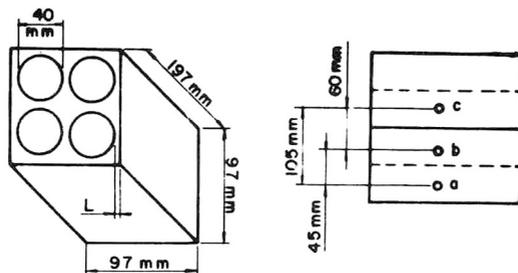


Figura 4: Disposição dos orifícios no tijolo cerâmico. (L=5 a 8mm).

Analisando-se os dados obtidos verifica-se que para tijolos ressonadores com picos mais afastados entre si, o acoplamento mostrou uma curva de absorção com dois picos bem definidos. As frequências, foram próximas das obtidas para cada componente separadamente mas, mostrando uma ligeira aproximação entre si. A figura 5, relativa a medição 5.3, ilustra os dois picos observados. Quando as frequências de pico de cada componente apresentaram valores relativamente próximos entre si, os ressonadores, quando acoplados, mostraram curvas de absorção com um único pico.

Observando-se a tabela 5, verifica-se que os tijolos ressonadores estudados, atuando isoladamente, apresentaram uma largura de pico oscilando entre 23 e 26Hz. Com os dois ressonadores atuando simultaneamente, o duplo pico de absorção atingiu largura superior a 50Hz.

Quando a curva de absorção dos ressonadores, atuando simultaneamente, passa a possuir um único pico, nota-se um decrescimento em α_{max} , que se acentua a medida que as frequências de ressonância de cada ressonador assumem valores mais próximos entre si. Este fato é de fundamental importância e, portanto, será tratado mais detalhadamente a seguir.

Ressonadores com Mesma Frequência de Ressonância

Efetuu-se uma serie de medições utilizando-se três ressonadores, cada um constituído por uma cavidade e um único orifício, no mesmo tipo de tijolo estudado no tópico anterior. A figura 4 ilustra a disposição dos orifícios dos ressonadores que estão identificados pelas letras a, b e c. Desta forma pode-se determinar o coeficiente de absorção desses ressonadores, acoplados dois a dois e, também , os três atuando simultaneamente. Cada orifício foi ajustado de forma a garantir que os três ressonadores, quando considerados isoladamente, possuíssem a mesma frequência de ressonância. O estudo foi efetuado com os picos de absorção sintonizados nas frequências de 16 9Hz, 203Hz, 222Hz, 234Hz, 269Hz e 320Hz. A partir das curvas de absorção dos ressonadores atuando isoladamente e acoplados, determinou-se a variação, Δ_α , que corresponde á diferença

Medição	Orifícios abertos	Diâmetro orif. (mm)	Pico de freq. (Hz)	Absorção α_{max}	Freq. entre picos (Hz)	mínima absorção entre picos α	largura de pico
5.1	a	10	269	1,00			25
5.2	b	8	234	1,00			24
5.3	a	10	266	1,00	250	0,59	57
	b	8	234	1,00			
5.4	b	8,8	249	1,00			23
5.5	a	10	266	1,00	257	0,92	44
	b	8,8	252	1,00			
5.6	b	9	252	0,99			23
5.7	a	10	266	1,00	259	0,97	41
	b	9	254	1,00			
5.8	b	9,5	259	0,99			25
5.9	a	10	264	0,99		1 único pico	37
	b	9,5					
5.10	b	10	266	0,98			25
5.11	a	10	266	0,85		1 único pico	33
	b	10					
5.12	b	10,15	269	0,99			26
5.13	a	10	269	0,83		1 único pico	35
	b	10,15					

Tabela 5: Dados sobre acoplamento entre dois ressonadores com frequências distintas.

entre os valores de α_{max} obtidos para a composição de ressonadores e os valores de α_{max} devidos a cada ressonador que deu origem a composição. Como na maioria dos casos, cada ressonador isoladamente, não apresentou o mesmo valor de α_{max} , no cálculo de Δ_α foram considerados o valor máximo e o valor mínimo.

Foram estudadas as composições ab, bc, ac e abc, (ver figura 4), onde se verifica que na combinação de ressonadores sintonizados na mesma frequência de ressonância, pode ocorrer um acoplamento destrutivo, no que tange ao potencial de absorção sonora; isto é, a máxima absorção alcançada com a composição dos ressonadores ser inferior a máxima absorção alcançada com cada ressonador atuando isoladamente. Nos casos estudados, fica nítido que o decréscimo na eficiência de absorção sonora dos ressonadores acoplados, acentua-se com a elevação da frequência de ressonância que cada ressonador está sintonizado. Como exemplo, pode ser mencionado o caso ilustrado na figura 6, que mostra a variação de Δ_α , em função da frequência, para dois ressonadores acoplados, onde a distância entre os centros dos orifícios "a" e "b", foi mantida constante em 45mm. Verifica-se que o coeficiente de absorção desses ressonadores, atuando simultaneamente, apresentou uma elevação de 19decrécimo da ordem de 16%, quando sintonizados em 269Hz.

Outro aspecto que deve ser considerado é a influência da distância entre os orifícios dos ressonadores acoplados. Neste sentido, em cada frequência foram feitas medições para distâncias de 45mm, 60mm e 105mm mas, as variações de Δ_α foram muito pequenas. Portanto, para o intervalo de distância adotadas, pode-se concluir que não houve efeito significativo do afastamento entre orifícios, sobre o acoplamento dos ressonadores.

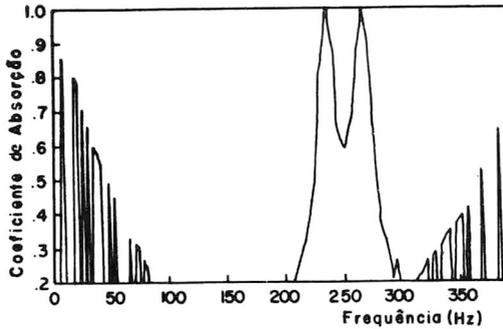


Figura 5: Coeficiente de absorção de dois ressonadores de tijolo cerâmico, atuando simultaneamente.

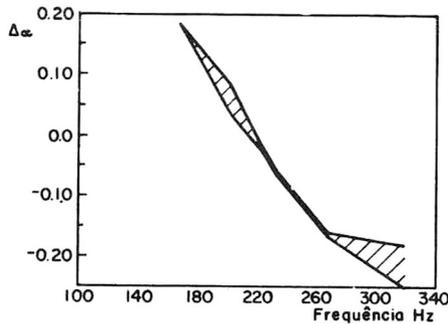


Figura 6: Variação de α_{max} , devido ao efeito do acoplamento entre dois ressonadores.

Conclusões

Neste estudo foram observados valores de α_{max} que atingiram a 100% e larguras de pico que chegaram a 400Hz. Estes resultados permitem afirmar que os dispositivos estudados, quando adequadamente utilizados, podem constituir um recurso na absorção de ruídos de baixa frequência. A alta porosidade dos blocos ressonadores, além de interferir na frequência de ressonância do sistema, mostrou também, grande influência sobre o valor de pico do coeficiente de absorção, α_{max} , e sobre a largura deste pico. Os resultados revelaram que essa influência pode ser positiva ou negativa, dependendo da frequência para a qual o bloco ressonador foi sintonizado. Esta porosidade também mostrou-se responsável pelo acoplamento interno entre as cavidades de dois ressonadores atuando simultaneamente. Outra importante conclusão deste estudo, é o efeito de acoplamento externo entre ressonadores sintonizados na mesma frequência de ressonância, que pode ser construtivo ou destrutivo.

Referência

- [1] Giampaoli, E., "Características de Absorção Acústica de Tijolos Transformados em Absorve-

dores de Ruído de Baixa Frequência”. Dissertação de Mestrado, UFSC, Dpto de Engenharia Mecânica (1987)-Orientador: Prof. Samir N. Y. Gerges, Ph.D.

- [2] Chu, W.T., "Transfer Function Technique for Impedance and Absorption Measurements in an Impedance Tube Using a Single Microphone", J. Acoust. Soc. Am., V. 80 No. 2 (1986).
- [3] Kinsler, L.E. & Grey, A.R., "Fundamentals of Acoustics", John Wiley & Sons (1982).
- [4] Junger, M.C., "Helmholtz Resonators in Load-Bearing Walls", Noise Control Engineering, V. 4, No 1 (1975).
- [5] Giampaoli, E. e Gerges, S.N.Y., "Determinação da absorção Sonora de Materiais Utilizando um Microfone e um Analisador Digital de Dois Canais", COBEM-87.
- [6] Giampaoli, E. and Gerges Samir N.Y., "Low Frequency Sound Absorption by Cavity Resonator Masonry Blocks", Noise Control Engineering Journal, INCE (EUA), Vol-33 Nro.3 - 1989.

EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE TIJOLOS RESSONADORES

