

Desempenho acústico na arquitetura residencial brasileira: paredes de vedação

Acoustical performance of Brazilian dwellings: party walls

Elisabeth de Albuquerque Cavalcanti Duarte
Elvira Barros Viveiros

Resumo

Este artigo apresenta um estudo da evolução da arquitetura da moradia brasileira pelos séculos, a partir de um ponto de vista não encontrado nas abordagens históricas: o isolamento acústico. Primeiramente descreve-se os principais eventos que modificaram a função da casa e que, em consequência, transformaram sua qualidade acústica. Na segunda parte do artigo apresenta-se um levantamento dos principais processos construtivos brasileiros na história, em razão de sua relação muito próxima com o desempenho acústico, e, também, discute a teoria de isolamento sonoro de paredes. Posteriormente são feitas as predições analíticas da transmissão sonora das vedações brasileiras destacadas como mais significativas no levantamento histórico. Como resultado, a queda significativa, ao longo do tempo, no nível do isolamento sonoro oferecido pelas partições é quantificada. Destaca-se o fato de que as paredes rotineiramente encontradas nas construções residenciais atuais têm pior desempenho do que as antigas e de que determinadas vedações chegam a isolar menos, quase 20 dB, quando comparadas com as do passado.

Elisabeth de Albuquerque
Cavalcanti Duarte
Grupo de Acústica Arquitetônica e
do Meio Ambiente
Universidade Federal de Santa
Catarina
Caixa Postal 476
Florianópolis - SC - Brasil
CEP 88040-900
Tel.: (48) 3271-9393
Fax: (48) 3721-9550
E-mail: eacduarte@yahoo.com.br

Elvira Barros Viveiros
Grupo de Acústica Arquitetônica e
do Meio Ambiente
Universidade Federal de Santa
Catarina
Caixa Postal 476
Florianópolis - SC - Brasil
CEP 88040-900
Tel.: (48) 3271-9393
E-mail:
elvira@pesquisador.cnpq.br

Recebido em 12/02/07
Aceito em 21/09/07

Palavras-chave: Isolamento sonoro. Acústica de edificações. História da Arquitetura. Vedações.

Abstract

This paper presents a study on the architectural evolution of Brazilian dwellings along the centuries, from a perspective that is distinct from other historical approaches: the sound insulation. Initially the most important events that have modified the use patterns of houses and, consequently, changed their acoustical performance are described. The second part of the article presents an investigation on the main building systems along different periods of Brazilian history, considering their relationship with acoustical performance, and discusses the theory of the transmission loss of single panels. Then, analytical predictions of the sound insulation are made for the party walls that were selected as the most important ones in the historical study. As results, the decrease in the acoustical performance of building partitions along history is quantified. The study pointed out that ordinary partitions found in the vast majority of new Brazilian residential buildings perform worse than the ones in older buildings: some walls have an average insulation of about 20 dB lower when compared to the ones used in the past.

Keywords: Sound insulation. Building acoustics. Architectural history. Party-walls.

Introdução

No país, a ausência de estudos de teoria da arquitetura brasileira em relação a aspectos ligados ao conforto acústico é absoluta, mesmo observando-se alguns teóricos de destaque, como Carlos Lemos (1979), Reis Filho (1987), Paulo Santos (1981) e Yves Bruand (2002). Outras óticas do conforto, tais como a lumínica e a térmica, ainda encontram reflexão, como em Lamberts, Dutra e Pereira (1997) e Mascaró (1990). Há diversas razões para isso, entre as quais se destaca a tradição dos estudos de arquitetura com ênfase nos aspectos lingüísticos, estéticos, econômicos e sociais.

Como afirmam Duarte e Viveiros (2004a), países tropicais como o Brasil necessitam de estudos em acústica, visto que suas construções, geralmente, apresentam grande número de aberturas e têm menor densidade na envoltória – dois aspectos desfavoráveis para um bom isolamento sonoro. Dos vãos, advém a ventilação desejada dos trópicos, mas também o ruído externo. Sendo leves os fechamentos da edificação, mais facilmente os sons são transmitidos para o interior da habitação. Sabe-se que o nível de isolamento sonoro no interior de uma residência depende de três componentes principais: a fachada, que servirá de proteção para o ruído externo, sendo a vedação das aberturas o aspecto mais importante para o seu desempenho; as vedações horizontais, que, no caso das lajes nos apartamentos residenciais, atenua o ruído de impacto, usualmente produzido por vizinhos de andares superiores e inferiores; e, por fim, as paredes de vedação, que irão isolar o ruído advindo de edificações vizinhas e/ou do exterior. Este artigo tem como foco as paredes de vedação sem vãos.

Este trabalho, em sua primeira parte, faz uma análise geral da habitação brasileira, descrevendo as transformações da casa ao longo dos tempos e destacando os aspectos que tiveram rebatimento no desempenho acústico das edificações residenciais. Em um segundo momento, a investigação se volta, especificamente, para a evolução histórica das paredes de vedação das residências. Por fim, o nível de isolamento sonoro das partições é teoricamente definido e quantificado, e seu desempenho ao longo da história, discutido. Ainda, a qualidade das vedações atuais é comparada com o exigido por normas internacionais.

Breve histórico da acústica residencial brasileira

A história da casa brasileira é rica em acontecimentos, os quais refletem costumes,

tradições e influências de variados povos. Aspectos econômicos, sociais, políticos, tecnológicos e outros contribuíram para se chegar à atual condição da residência brasileira. Se observados do ponto de vista da qualidade acústica, existem fatos que se sobressaem, determinando uma seqüência histórica característica. Há episódios em que, mesmo que a acústica não fosse o foco, repercutiram em sua qualidade. Conforme afirma Duarte e Viveiros (2004b), qualquer ambiente, em qualquer lugar ou período na história, configura um campo sonoro específico, de boa ou de má qualidade, mesmo que não tenha sido critério para o projeto.

A colonização portuguesa no Brasil nos séculos XVI e XVII se iniciou de forma rápida e extensiva. Em poucos anos, diversas cidades já tinham sido formadas. Apesar do grande território ocupado, as primeiras moradas brasileiras tinham, em sua maioria, a mesma aparência. Isso se explica, principalmente, pelo uso repetitivo de técnicas construtivas e de modelos estilísticos oriundos da arquitetura latina. Lemos (1996) afirma que havia casas brasileiras com exterioridades lusitanas. Dessa forma, a casa popular urbana colonial teve praticamente a mesma planta por todo o país, o que se deveu, sobretudo, à configuração dos lotes, herdada das antigas tradições urbanísticas de Portugal, que induziam à construção de casas compridas, geminadas e com cômodos enfileirados. As edificações eram construídas nos limites do lote, impedindo a criação de áreas livres, como os jardins, que só apareceram no Brasil no século XIX (REIS FILHO, 1987). Como consequência, em termos de qualidade acústica, há falta de privacidade entre as unidades habitacionais por uma maior proximidade entre fontes sonoras. No interior das casas, acontecia o mesmo, com as consagradas meias-paredes.

Comparando-se a Figura 1, de casas em Portugal, com a Figura 2, com casas brasileiras, pode-se perceber a semelhança entre as duas arquiteturas. A Figura 2 mostra três exemplos brasileiros que exemplificam como o padrão português se repetiu, sendo quase impossível distinguir uma cidade de outra, apesar de se localizarem em locais distintos do Brasil.

A Revolução Industrial e a integração do país ao mercado mundial com a abertura dos portos permitiram a entrada de novos materiais, que colaboraram na alteração das fachadas, o que contribuiu para transformar o desempenho acústico das casas. O vidro, material antes raro, se tornou mais acessível economicamente e logo serviu para clarear o interior das residências, que antes era

consideravelmente escuro devido às janelas com tábuas de madeira. Se por um lado houve melhora na qualidade acústica residencial, com a divisão mais funcional dos cômodos e com o descolamento dos limites dos lotes, nesse momento também as fachadas das residências apresentavam mais aberturas, tornando-se mais permeáveis ao ruído.

As transformações sociais decorrentes da abolição da escravatura e da proclamação da República também marcaram a configuração da casa brasileira. A partir dali, os espaços são reduzidos, por não existirem mais escravos para as atividades rotineiras de uma grande casa colonial (VERÍSSIMO; BITTAR, 1999). Nesse momento surge, também, a tendência de saída do centro urbano, quando a classe alta da sociedade começa a buscar na periferia seu refúgio. Em São Paulo e no Rio de Janeiro foram construídos verdadeiros palacetes, com grandes e requintados jardins e praças. Já a classe média, move-se para as casas de aluguel deixadas pelos ricos na cidade, com os típicos porões altos, de influência européia. Vários fatores podem ter contribuído para esse fluxo inverso da população para o subúrbio, mas, certamente, entre os pontos mais fortes, estava a busca por lugares mais tranquilos e menos ruidosos.

No final do século XIX, as cidades brasileiras apresentam um quadro de grande prosperidade. A decadência do trabalho escravo e a imigração de europeus contribuíram para promover uma melhor qualidade de vida nos centros urbanos, o que atrai um fluxo migratório significativo. Entretanto, diversos entraves começam a aparecer na

administração das cidades, entre eles a falta de moradia. Nos grandes centros prolifera grande quantidade de habitações com os mais variados estilos. A qualidade do isolamento acústico das residências cai significativamente, pois a área urbana adensou-se e as construções tornaram-se mais leves e, conseqüentemente, mais expostas ao ruído urbano, que também aumentava.

As residências para a parcela da população mais pobre seguiram o modelo colonial da senzala com o cortiço. Era uma construção composta de diversas casas enfileiradas com o mesmo padrão. O típico cortiço tinha entre dois e quatro metros, com dois ou três banheiros ao fundo, alguns tanques para lavar roupas e duas fileiras de quartos separados por um corredor central. Por ser um investimento barato e lucrativo, vários proprietários mantiveram seus cortiços próximos às linhas férreas por longo período, chegando até o final da década de 1960.

A partir dos cortiços, foram criadas as casas operárias, com no mínimo três cômodos, sala, quarto e cozinha, e banheiro no quintal. Qualquer casa pequena era chamada de casa operária. Rapidamente os industriais perceberam as vantagens de manter seus empregados perto do trabalho e criaram as vilas operárias, que podiam ocupar quarteirões inteiros próximos às fábricas, com as chamadas casas operárias, destinadas a abrigar os funcionários. Daí se derivam muitas das favelas presentes nas cidades brasileiras. A Figura 3 mostra, de forma esquemática, esse processo de transformação.



Figura 1 - Residências típicas portuguesas¹

¹ Fonte: <http://frkchemin.free.fr> e www.supphoto.net/galerie/fonds_ecrans_gratuits/, respectivamente. Acesso em: 15 jan. 2005.



Figura 2 - Casas coloniais brasileiras. No sentido horário, a partir de cima: Marechal Deodoro, Alagoas; Ouro Preto, Minas Gerais; Parati, Rio de Janeiro²

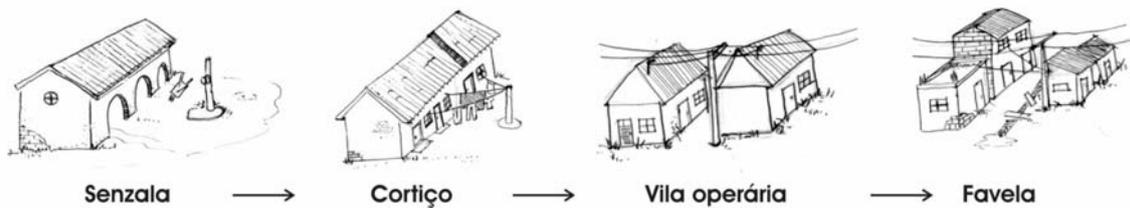


Figura 3 - Evolução das casas voltadas para a população mais pobre nas cidades: da senzala do século XVII às atuais favelas

² Fonte: www.angelfire.com/ca/jpheraud/maceio.html; www.geog.umontreal.ca/.../projctbresil.htm; brazilspecial.net/.../city.asp?city=Paraty, respectivamente. Acesso em: 12 set. 2004.

A Primeira Guerra Mundial, em 1914, representou uma mudança brusca na arquitetura residencial brasileira. Tendo como padrão as cidades européias, inicia-se, nesse momento, um processo de grandes intervenções na escala urbana. Extensas avenidas e bulevares foram abertos, e arrojados planos de saneamento básico foram implantados. No final dos anos 20, uma novidade trazida dos Estados Unidos invade os grandes centros e propõe para a classe média uma nova tipologia, que, no início, se destinava a fins comerciais, ao invés de moradia: o *sky-scraper*, o conhecido arranha-céu. Subseqüentemente, o edifício, só que com poucos andares, transformou-se em sonho de consumo de residência da classe média. A qualidade acústica, no entanto, sofre um decréscimo significativo, pois agora há o ruído propagado ao longo da própria edificação, tecnicamente denominado ruído estrutural, que é gerado pelas instalações prediais e pelo caminhar das pessoas.

A partir da segunda metade da década de 30, um novo elemento começa a participar da rotina das casas da classe média, o eletrodoméstico, que colabora para diminuir o número de ambientes da antiga casa colonial, pois substituiu vários escravos no desempenho das atividades domésticas, reduzindo o tamanho, principalmente, das áreas de serviço e da cozinha. Em conseqüência, a partir daí novas fontes sonoras são trazidas para o interior das residências.

O modernismo chega à arquitetura brasileira nas décadas de 30 e 40. Nas casas acontece o que Lemos (1996) chama de uma espécie de “proletarização” dos programas de superposições. O autor, mesmo que não tenha tido intenção, faz uma abordagem sobre a qualidade acústica da casa moderna quando descreve:

Há dessas casas modernas em que até os dormitórios possuem paredes baixas. Com essa pretendida continuidade espacial, as paredes divisórias deixam de ser efetivamente isoladoras de atividades para tornarem-se simplesmente selecionadoras de ambientes, havendo uma intencional promiscuidade. (LEMOS, 1996, p. 74).

O modelo de casa moderna afeta consideravelmente a qualidade acústica das residências já que as paredes das casas não exercem mais a função de divisores, reduzindo a privacidade dos moradores.

A crescente febre de consumo dos anos 70 valoriza substancialmente o automóvel, e somente um carro para a família não basta. A garagem se torna elemento necessário da residência, e não apenas uma questão de *status* ante a sociedade. Por razões óbvias, é nessa ocasião que o tráfego de automóveis aumenta consideravelmente, elevando sobremaneira o nível do ruído urbano.

A partir dos anos 80 surge uma nova função na residência, a de área de trabalho, com um forte elemento colaborando para o isolamento e a individualização dos membros da família – o microcomputador. A nova tendência, contraditoriamente, faz voltar a situação de centenas de anos antes, quando a habitação e o trabalho dividiam o mesmo espaço.

Com tantas mudanças num curto prazo de tempo, atualmente, quando se percorrem as ruas das cidades do país, é possível encontrar as diversas etapas pelas quais a casa brasileira passou. Como afirmam Veríssimo e Bittar (1999):

O prazo é tão curto que é possível hoje [...] encontrarmos a casa colonial de caboclo, a senzala nas precárias instalações dos cortadores de cana ou colhedores de laranja, a casa-grande nas grandes residências de veraneio com a casa de empregados ao fundo... Mas também é possível nos depararmos com soluções contemporâneas como os “apart-hotéis” ou lofts pós-modernos informatizados ou ainda confortabilíssimos apartamentos triplex nos bairros-jardins paulistas. (VERÍSSIMO; BITTAR, 1999, p. 129).

A Figura 4 mostra, de forma resumida, os principais momentos históricos descritos na evolução da casa e das cidades, bem como as conseqüências mais significativas para a qualidade acústica da moradia brasileira.



Figura 4 - Principais eventos que influenciaram a qualidade acústica das residências brasileiras

Processos construtivos das vedações residenciais

A parede de vedação de uma casa é uma das principais proteções contra o ruído aéreo. Por esse motivo, é primordial para a compreensão do desempenho acústico da moradia brasileira. Chegando-se até os dias atuais, apresenta-se o levantamento cronológico dos principais processos construtivos, para, em seguida, avaliá-los acusticamente.

No território nacional é possível encontrar exemplos de diversas épocas da história brasileira e dos processos construtivos empregados. Por esse motivo, é difícil caracterizar técnicas construtivas específicas de cada período da arquitetura brasileira, pois elas se prolongam no decorrer tempo. Nas palavras de Bazin (1983), “o Brasil é um verdadeiro museu de construção através dos tempos”. No entanto, algumas considerações gerais podem ser feitas. O período colonial brasileiro é caracterizado pela mescla das técnicas construtivas importadas de Portugal e pela influência indígena. A qualidade técnica das construções coloniais, no entanto, não era das melhores. Reis Filho (1987) afirma expressamente que o nível tecnológico era dos mais precários. O processo construtivo baseava-se no trabalho escravo do africano, que não tinha sequer

conhecimento das técnicas indígenas e portuguesas. Era mão-de-obra abundante, mas com pouca qualidade. Segundo Reis Filho (1987), os materiais utilizados eram pouco resistentes, tais como a madeira, o barro ou a argila, dependendo da disponibilidade da região. A pedra era privilégio apenas das residências de classes mais abastadas. Percebe-se que existiam regiões no Brasil colonial com usos distintos dos processos construtivos, podendo-se dividir o país nas seguintes áreas:

- nordeste – predominam as técnicas mais antigas e, desde o início da colonização portuguesa, a região teve como característica principal o uso do tijolo nas vedações;
- litoral sul, em faixa que vai da Bahia ao sul do país – existem algumas diferenças que podem ser justificadas pelas variações climáticas e, principalmente, pela existência de outras matérias-primas. Destaca-se a pedra entaipada, encontrada em diversos pontos da região (LEMOS, 1996); e
- interior paulista e arredores – predomina a taipa de pilão, utilizada por quase 300 anos.

A Figura 5 mostra as regiões descritas, associadas aos sistemas construtivos predominantes.



Figura 5 - Processos construtivos coloniais de acordo com cada região do Brasil

No final do século XIX, conforme já afirmado, há a decadência do trabalho escravo e o início da imigração européia. Com o começo do trabalho remunerado, a qualidade das técnicas construtivas apresenta considerável aprimoramento (LEMOS, 1996). Nesse período, uma transformação importante foi a introdução do tijolo queimado, também chamado de bloco cerâmico, como opção de alvenaria. Nas residências em São Paulo, até ali, a taipa de pilão era praticamente a única técnica construtiva utilizada.

A abolição da escravatura, o início da República e a chegada de imigrantes europeus ainda não foram suficientes para que o país transformasse definitivamente sua estrutura econômica e uma fase industrial se instalasse. A mudança só aconteceu sob o impacto da Primeira Grande Guerra e o advento do concreto armado, no início do século XX, o qual impulsionou o crescimento da indústria da construção civil.

O ápice da construção civil brasileira foi a criação de Brasília. Como afirma Vargas (1994),

Em termos tecnológicos, [Brasília] não pode ser considerada um marco da tecnologia nacional, mas, sem dúvida o é da engenharia brasileira. [...] Ela permitiu, contudo, que se desenvolvessem, pela ação direta, métodos de construção inusitados em regiões longínquas dos meios industrializados. (VARGAS, 1994, p. 243).

Até o presente século, a despeito da grande transformação experimentada pelas cidades e do aumento considerável da poluição sonora, o padrão construtivo mantém-se basicamente inalterado, com estruturas em concreto armado e paredes em alvenaria de tijolos ou blocos. Não se vê na cultura nacional nenhuma consideração especial em relação à acústica.

Fundamentação teórica de isolamento sonoro

Segundo Sharland (1979), isolamento, seja térmico, elétrico ou sonoro, significa prover uma barreira ao fluxo de energia que, no caso em questão, é a energia sonora. A barreira, então, impõe determinada atenuação à transmissão ao longo do caminho de propagação da energia. Para se avaliar a capacidade de isolamento sonoro das vedações brasileiras, faz-se necessário o estudo teórico da transmissão sonora através de partições simples, ou seja, de paredes monolíticas, visto que

essa é a realidade brasileira até o presente século. Nos últimos cinco anos tem-se observado a utilização de paredes duplas de gesso acartonado, no entanto seu uso é dominante em edificações não residenciais.

Uma parede apresenta diferentes comportamentos, de acordo com suas características de massa, rigidez e amortecimento. Nas baixas frequências, a transmissão depende da rigidez da partição. Em frequências um pouco mais altas, o comportamento da parede será de ressonância, e a quantidade de energia transmitida dependerá exclusivamente do amortecimento da componente. Nas frequências em torno do dobro da frequência de ressonância, inicia-se a chamada Lei da Massa. Dentro dessa região, a perda de transmissão cresce, teoricamente, numa razão de 6 dB por oitava, ou seja, para o dobro da frequência, até um limite superior, determinado pela frequência crítica, quando ocorre uma acentuada queda na perda de transmissão (REYNOLDS, 1981). Para cada uma dessas regiões de frequência existem diferentes equações para descrever o comportamento da transmissão sonora.

Conceitualmente, a perda de transmissão, PT , relaciona logarithmicamente as potências sonoras incidente (W_i) e transmitida (W_t), sendo expressa por:

$$PT = 10 \log \frac{W_i}{W_t} \text{ dB} \quad (1)$$

Considerando-se o coeficiente de transmissão sonora τ como a relação entre potências, a equação 1 pode ser reescrita de acordo com:

$$PT = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

Conforme já dito, a transmissão sonora tem comportamento distinto para diferentes regiões de frequência. A equação 2, portanto, toma formas diversas para cada faixa de frequência. Também, há variação nas equações conforme o tipo de incidência da onda sonora. Neste artigo, utiliza-se a incidência difusa como referência, pois é a mais adequada à realidade das edificações *in situ*. A Figura 6 mostra esquematicamente a curva típica de perda de transmissão de paredes simples, associando distintas regiões de frequência às respectivas equações, conforme mostram Beranek (1992), Fahy (2001) e Reynolds (1981).

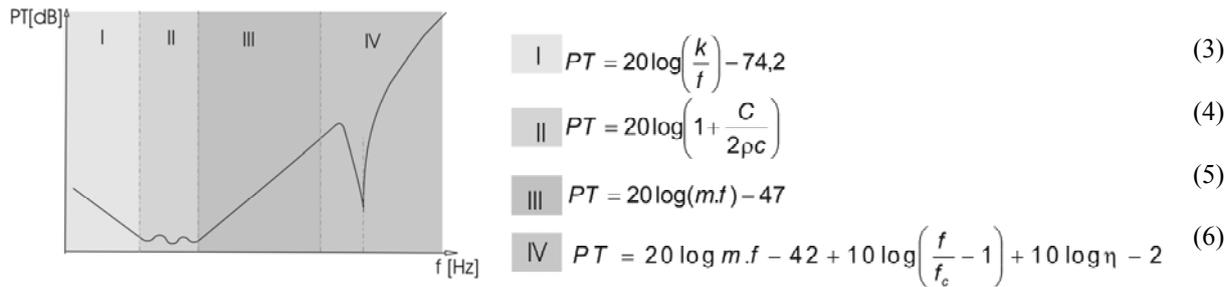


Figura 6 - Curva típica de perda de transmissão, em frequência, de uma partição simples e respectivos modelos matemáticos de predição para incidência sonora difusa

Nas equações 3, 4, 5 e 6, k é a rigidez da partição; f , a frequência; C , o amortecimento; ρ , a densidade específica do ar; c , a velocidade do som no ar; m , a densidade superficial da partição; η , o fator de perda; e f_c , a frequência crítica, dada por:

$$f_c = \frac{c^2}{1,8.h.c_l} \text{ Hz} \quad (7)$$

onde:

h é a espessura da partição; e

c_l , a velocidade da onda de flexão.

A seguir, a teoria de isolamento sonoro é aplicada nas partições brasileiras levantadas para, assim, ter-se uma estimativa de seu desempenho acústico.

O isolamento sonoro das paredes de vedação brasileiras

A Figura 6 mostrou nas equações que a densidade superficial dos componentes de vedação, m , é determinante na qualidade do isolamento sonoro em importantes faixas de frequência. O valor de m é resultante do produto da densidade específica do material (ρ) pela espessura da partição (h). Portanto, um material menos denso ou uma parede com menor espessura, ou os dois simultaneamente, resultarão em diminuição no isolamento sonoro. Então, para subsidiar a análise do desempenho das partições brasileiras, as densidades superficiais foram calculadas a partir de levantamento histórico realizado e estão representadas na Figura 7. É notável o decréscimo sofrido ao longo dos séculos, o que determinou, não necessariamente sozinho, a perda no nível de isolamento sonoro das edificações brasileiras.

Para o cálculo do isolamento sonoro em frequência das componentes estudadas é necessária a identificação precisa de diversas características físicas, conforme apontam as variáveis das equações apresentadas na Figura 6. Logo, obter a predição do isolamento sonoro das vedações

brasileiras ao longo da história é tarefa árdua, já que há pouca ou nenhuma informação técnica disponível. Então, a partir das equações foram realizados os cálculos para os elementos de vedação dos quais se tinham os dados necessários. Os elementos mais antigos, como a taipa de pilão ou a taipa de mão, sobre os quais inexistem informações como fator de perda ou módulo de elasticidade, não tiveram seu desempenho estimado.

Resultados

A Figura 8 apresenta os resultados da predição do isolamento sonoro, em frequência, onde é possível constatar-se a melhora da perda de transmissão com o aumento da densidade, bem como o caimento abrupto, relativo à frequência crítica de cada partição.

Comparando-se as diversas curvas, percebe-se o desempenho superior da alvenaria de tijolo de 45 cm de espessura. Em todas as frequências, com exceção da região da frequência crítica, em torno de 31,5 Hz, os valores da perda de transmissão são superiores aos demais em, pelo menos, 10 dB. Das partições atuais, há comportamento similar entre a alvenaria de tijolo maciço (10,5 cm) e de bloco cerâmico (15 cm). Ressalta-se, porém, a qualidade da vedação em tijolo, pois é um dos elementos construtivos mais tradicionais no Brasil, de baixo custo, de fácil execução e cuja matéria-prima é acessível em todo o país.

Observa-se, ainda, um esperado deslocamento das frequências críticas para regiões mais baixas de frequência, à medida que a espessura da parede aumenta, ou seja, nos componentes mais antigos. Isso significa, também, um melhor desempenho das partições utilizadas no passado, pois acima da frequência crítica o crescimento da perda de transmissão é mais acentuado que os 6 dB por oitava previstos para a região da massa, conforme mostra a Figura 6, onde se tem maior inclinação da

curva no segmento regido pela equação 6 em relação à região da equação 5. Ainda, a frequência crítica correspondente aos componentes antigos de vedação tende a localizar-se em região de frequências abaixo de 50 Hz, menos presente no espectro de ruído do dia-a-dia das residências, como se observa na curva correspondente ao tijolo de 45 cm de espessura.

Como não existe informação completa para a predição dos valores de isolamento de todas as partições estudadas, conforme já dito, é possível o cálculo relativo do desempenho a partir de um parâmetro conhecido para todas as vedações, a massa. Assim, a queda na perda de transmissão, ΔPT , é obtida em razão do decréscimo na densidade superficial das paredes, de acordo com:

$$\Delta PT = 20 \log \frac{m_1}{m_2} \text{ dB} \quad (8)$$

sendo m_1 e m_2 as densidades superficiais dos elementos que se quer comparar. De acordo com a equação 8, então, a substituição da pedra pelo tijolo e do tijolo pelo bloco cerâmico nas edificações brasileiras significou, respectivamente, uma redução de 19 dB e de 15 dB.

Outra forma de apreciar o comportamento das vedações é por meio do número único de isolamento, em vez da análise em bandas de frequência. A conversão dos valores da perda de transmissão para um índice único representativo da partição, R_w , foi feita de acordo com a ISO 717-1 (1996), e tais valores estão apresentados na Figura 9.

Para se discutir desempenho, porém, é necessário comparar resultados obtidos com critérios mínimos. Para isso, utilizou-se levantamento feito por Rasmussen (2004), que abrange normas de 24 países europeus. Apesar das especificidades de cada país, o nível médio de isolamento exigido,

definido pela perda de transmissão *in situ*, R'_w , varia entre 50 dB e 61 dB. Com base, então, nesses níveis de desempenho internacionais exigidos, compararam-se os valores calculados para R_w das partições brasileiras pesquisadas, apresentados na Figura 9. Vale ressaltar que é esperado que os valores calculados de R_w sejam, em situações reais, ainda menores, visto que na predição teórica não estão consideradas as transmissões sonoras pelos flancos existentes na prática, como é o caso a que se referem as normas internacionais quando tratam de R'_w . É notável que, mesmo com a situação favorável de desconsideração da transmissão pelos flancos dada por R_w , todas as partições brasileiras utilizadas depois do século XIX estariam bem abaixo do mínimo exigido em normas europeias.

Considerando-se o desempenho tão fraco das vedações brasileiras, mediante qualquer das normas europeias, é esperada grande insatisfação dos moradores de edifícios residenciais do país. Porém, o nível de incômodo deve ser ainda mais crítico do que indicam os resultados aqui obtidos. Grimwood (1997) aponta que, na Inglaterra, muitas residências com níveis de isolamento dentro na norma contam com pessoas insatisfeitas com os níveis de ruído. Isso se explica pelo fato de que, primeiro, a norma fornece, como diz Rasmussen (2004), níveis mínimos de isolamento, cabendo ao proprietário aumentá-lo a seu critério. E, em segundo lugar, como afirma Gerretsen (2003) e Rasmussen (2004), os regulamentos se subsidiam em estudos conduzidos há cinquenta anos. Nesse período as cidades ficaram mais ruidosas e há disponíveis mais equipamentos sonoros domésticos de grande potência, o que tende a agravar a situação.

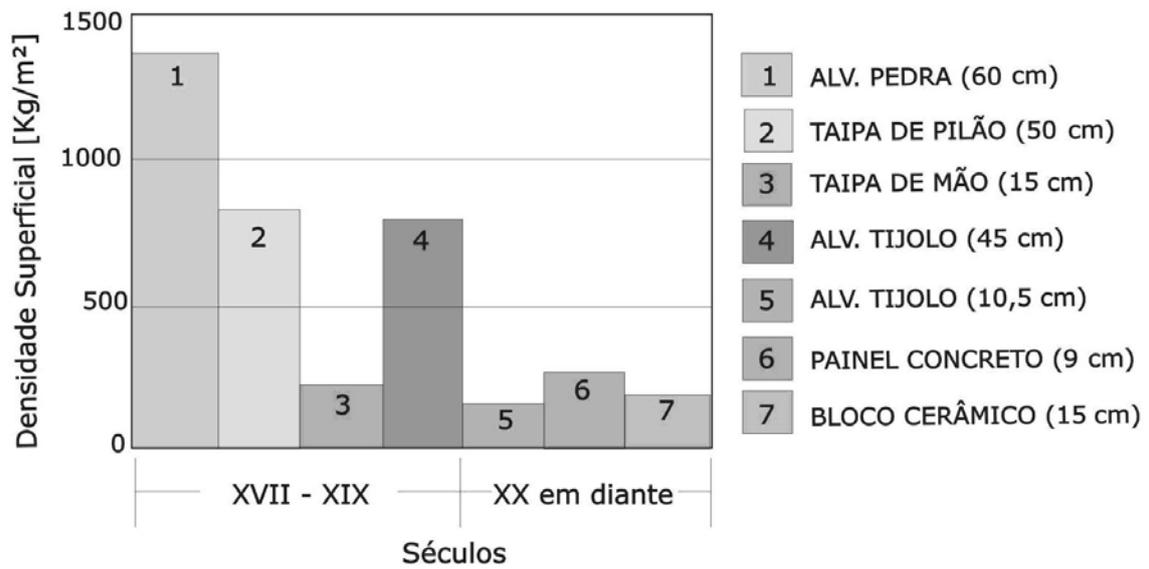


Figura 7 - Densidade superficial dos principais exemplos de partições brasileiras para diferentes períodos da história

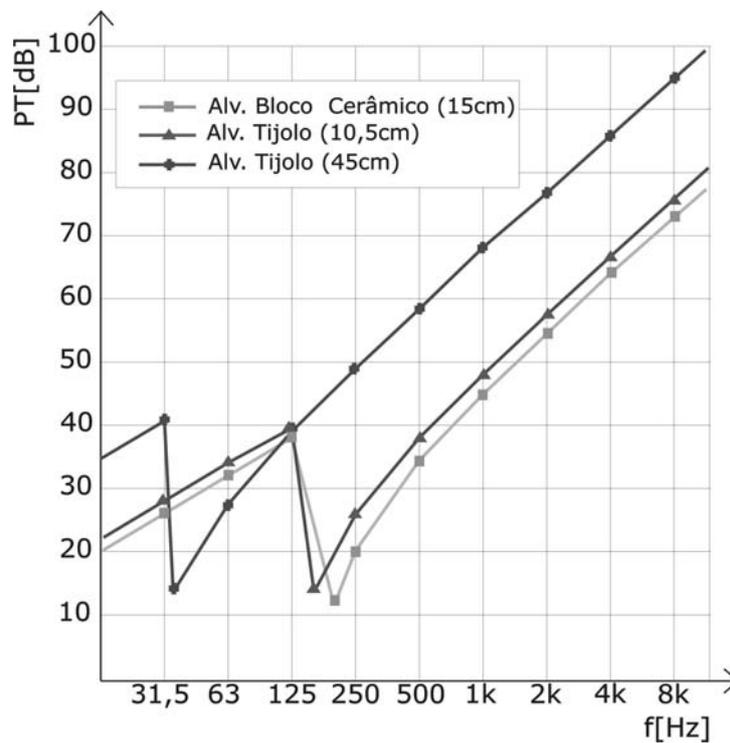


Figura 8 - Predição analítica da perda de transmissão sonora de exemplos de partições da arquitetura brasileira

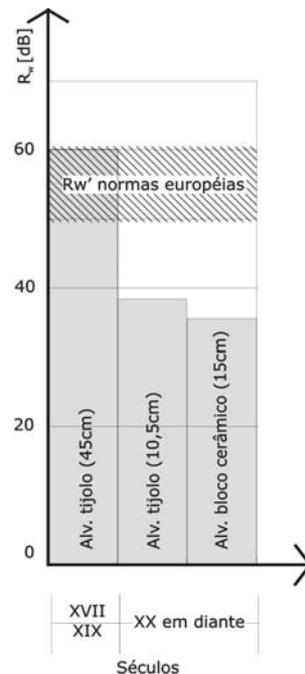


Figura 9 - R_w das paredes de vedação brasileiras, juntamente com a faixa de valores de R'_w exigidos pelas normas europeias, agrupadas por séculos

Conclusões

A linha de pesquisa conduzida pelo Grupo de Acústica Arquitetônica e do Meio Ambiente (GAAMA), da UFSC, investiga a qualidade do isolamento sonoro das edificações residenciais brasileiras. Este artigo, em particular, apresenta o estudo da evolução das paredes de vedação das residências unifamiliares, a partir de uma abordagem histórica, quantificando a degradação acontecida ao longo dos séculos.

Em um primeiro momento, apresentou-se um breve histórico sobre as transformações tipológicas das residências no país. Posteriormente, acompanharam-se as modificações sofridas pelos processos construtivos ao longo do tempo. Para entendimento do comportamento de isolamento acústico, apresentou-se a fundamentação teórica sobre transmissão sonora. A partir daí, calcularam-se os níveis de isolamento das partições pesquisadas.

Da análise histórica, observou-se que as edificações foram ficando mais leves ao longo do tempo em razão do uso de materiais mais leves e de paredes menos espessas. Métodos analíticos indicaram que a perda no isolamento sonoro das paredes, quando comparados os casos extremos somente em razão do decréscimo na densidade superficial, decaiu em aproximadamente 20 dB.

Para a predição do comportamento em frequência das vedações pesquisadas calculou-se a perda de

transmissão sempre que disponíveis as propriedades físicas dos materiais. As curvas obtidas demonstraram um decréscimo de qualidade no isolamento sonoro à medida que o tempo evoluiu, não apresentando as partições utilizadas atualmente variação significativa de comportamento. Por fim, conclui-se que, se avaliadas de acordo com normas internacionais, nenhuma das partições brasileiras utilizadas depois do século XIX estaria de acordo com o exigido atualmente na Europa, apesar de lá já haver pesquisas que indicam ser necessário um maior rigor dos critérios atualmente adotados.

Referências

- BAZIN, G. **A arquitetura religiosa barroca no Brasil**. Rio de Janeiro: Record, 1983. v. 1.
- BERANEK, L. L.; VÉR, I. L. **Noise and vibration control engineering: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, 1992.
- BRUAND, Y. **Arquitetura contemporânea no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 2002.
- DUARTE, E. A. C. **Estudo do isolamento acústico das paredes de vedação da moradia brasileira ao longo da história**. 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em

Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

DUARTE, E. A. C.; VIVEIROS E. B. Acoustic degradation of buildings along historical evolution of architecture: the construction of a timeline. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS, 18., 2004, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto, 2004.

_____. Relation between acoustic degradation of sound insulation and historical evolution of architecture. In: INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 33., 2004, Prague. **Proceedings...** Prague, 2004.

FAHY, F. **Foundations of engineering acoustics**. United Kingdom: Academic Press, 2001.

GERRETSEN, E. Prediction of sound insulation in buildings: a tool to improve the acoustic quality. In: DAGA'03, Aachen. **Proceedings...** Aachen, 2003.

GRIMWOOD, C. Complaints about poor sound insulation between dwellings in England and Wales. **Applied Acoustics**, Barking, v. 52, n. 3/4, p. 211-223, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 717-1**. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. 2nd ed. Switzerland, 1996.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Gráfica e Ed. Associados, 1997.

LEMONS, C. A. C. **Arquitetura brasileira**. São Paulo: Melhoramentos, 1979.

_____. **História da casa brasileira**. São Paulo: Contexto, 1996.

MASCARÓ, L. E. A. R. **Luz, clima e arquitetura**. São Paulo: Nobel, 1990.

RASMUSSEN, B. Sound insulation between dwellings: classification schemes and building regulations in Europe. In: INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING (INTERNOISE), 33., 2004, Prague. **Proceedings...** Prague, 2004.

REIS FILHO, N. G. **Quadro da arquitetura no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 1987.

REYNOLDS, D. D. **Engineering principles of acoustics: noise and vibration control**. Boston: Allyn and Bacon, 1981.

SANTOS, P. F. **Quatro séculos de arquitetura**. Rio de Janeiro: IAB, 1981.

SHARLAND, I.; LORD, P. **Woods practical guide to noise control**. 3. ed. England: Woods of Colchester, 1979.

VARGAS, M. A tecnologia na engenharia civil. In: VARGAS, M. **História da técnica e da tecnologia no Brasil**. São Paulo: UNESP/Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 1994.

VERÍSSIMO, F. S.; BITTAR, W. S. M. **500 anos da casa no Brasil: as transformações da Arquitetura e da utilização do espaço de moradia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 1999.

Agradecimentos

As autoras gostariam de agradecer à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPEAL, pela concessão de um ano de bolsa de mestrado para a primeira autora, e ao CNPq, pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa para a segunda autora, ambos fundamentais apoios para a realização desta pesquisa.