

Avaliação termoacústica de habitações populares na vila tecnológica de Curitiba

Thermal and acoustic evaluation of low-cost houses of the technological village of Curitiba

Eduardo Leite Krüger
Paulo Henrique Trombetta Zannin

Resumo

O presente trabalho apresenta as avaliações de desempenho térmico e acústico realizadas em moradias populares construídas na Vila Tecnológica de Curitiba. Duas moradias, com sistemas construtivos diferenciados, foram avaliadas: (a) o sistema construtivo Batistella, composto de módulos e componentes pré-fabricados de madeira de reflorestamento; e (b) o sistema construtivo Constroyer, composto de painéis de EPS (poliestireno expandido) envolto em telas de aço eletrossoldadas e argamassa projetada. Os equipamentos utilizados nas medições de temperatura e umidade relativa foram armazenadores (*dataloggers*) de temperatura e umidade da marca HOBO, para dois períodos: inverno e verão. Cada moradia teve seus valores de transmitância térmica e atraso térmico calculados pela Norma de Desempenho Térmico para Habitações Unifamiliares de Interesse Social - ABNT NBR 02:135.07-002 (2005a). Para se avaliar o desempenho acústico das moradias, foram realizadas medições *in situ* do coeficiente de isolamento acústico das fachadas e do coeficiente de isolamento acústico das paredes divisórias entre cômodos. Para o desempenho térmico, observou-se que os materiais usados na envoltória passam a ser determinantes tanto nos ganhos/perdas de calor através dos elementos construtivos quanto em sua capacidade de armazenar e reter calor, tendo o sistema com maior inércia térmica apresentado os melhores resultados. Os resultados mostraram que ambos os sistemas apresentam um desempenho acústico muito ruim, caracterizado por um baixo valor do coeficiente de isolamento acústico da fachada. Contribuiu também para o baixo desempenho acústico da fachada o estado sofrível de conservação de portas e esquadrias (caixilhos).

Palavras-Chave: desempenho térmico, desempenho acústico, moradia popular, sistemas construtivos, monitoramento térmico, monitoramento acústico.

Abstract

The present paper presents thermal and acoustic performance evaluations carried out in low-cost houses located at the Technological Village of Curitiba. Two dwellings were evaluated, which were built using two different building systems: (a) Batistella building system, built with pre-fabricated reforestation wood modules and elements; and (b) Constroyer building system, composed of EPS plates, framed in a welded iron mesh, with structural plastering. The equipment used for temperature and relative humidity measurements were HOBO temperature and humidity data loggers, used in two different seasons: winter and summer. Each house had its thermal transmittance values and time lag calculated according to the Brazilian Standard for Thermal Performance of Buildings. The acoustical performance of the houses was analyzed by measuring acoustical insulation coefficients for façades and for inner walls between contiguous rooms. Regarding the thermal performance, the materials used in the envelope were quite significant for controlling heat gains and losses through the building elements as well as for regulating heat storage. In this respect, the system with highest thermal inertia presented better results. Results also indicated that both building systems had poor acoustic performance, due to the low acoustic insulation coefficient of the façade. The poor conservation state of doors and window frames has also contributed for the low acoustical performance of the façade.

Keywords: thermal performance, acoustic performance, low-cost houses, building systems, thermal monitoring, acoustic monitoring.

Recebido em 11/05/05
Aceito em 02/02/06

Eduardo Leite Krüger
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia
Departamento de Construção Civil
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba - PR -
Brasil
CEP 80230-901
Tel.: (41) 3310-4725
Fax: (41) 3310-4712
E-mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

Paulo Henrique Trombetta Zannin
Laboratório de Acústica Ambiental
Industrial e Conforto Acústico
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal do Paraná
Bairro Jardim das Américas
Curitiba - PR - Brasil
CEP 81531.990
Tel.: (41) 3361-3433
E-mail: paulo.zannin@pesquisador.cnpq.br

Introdução

De acordo com a Fundação João Pinheiro (FJP, 2002), a necessidade de novas moradias é mais significativa nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, sendo o déficit por novas moradias atualmente da ordem de 6,6 milhões de unidades habitacionais (6.656.526 no ano 2000). No Estado do Paraná, esse déficit encontra-se na faixa de 250.000 a 500.000 unidades habitacionais. Em termos absolutos, ele compreendia 260.000 unidades no ano de 2000, estando concentrado principalmente em áreas urbanas (89%). Apenas em Curitiba, 70.489 novas moradias seriam necessárias para fazer frente a esse déficit. Quanto ao conjunto de metrópoles brasileiras, ele apresentou incremento de 34% em suas estimativas de déficit habitacional ajustado entre 1991 e 2000, correspondendo a 480 mil unidades. As Regiões Metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro concentram a maior parcela do déficit metropolitano em ambos os momentos: São Paulo com 30% e Rio de Janeiro caindo de 24,9% para 19,6%. As maiores taxas anuais de crescimento do déficit habitacional, porém, ocorreram em Curitiba e Belém.

O desconhecimento de soluções arquitetônicas adequadas para a otimização das condições de conforto (ou diminuição do desconforto) em edificações acaba resultando em ambientes termicamente desfavoráveis. As conseqüências são, em geral, drásticas: prédios que apresentam grande consumo de energia para condicionamento de ar no verão ou para calefação no inverno (caso das cidades situadas na Região Sul, como Curitiba), ou situações em que a simples permanência no ambiente, seja ele local de trabalho ou de moradia, torna-se uma experiência bastante desagradável do ponto de vista do conforto de seus ocupantes. Indo-se um pouco mais além na análise das conseqüências, poder-se-á verificar a diminuição do rendimento nas atividades a serem realizadas, no caso de ambientes de trabalho, ou mal-estar físico, no caso de moradias. Há a necessidade premente de se conservar energia, não apenas para evitar desperdícios, mas para que não sejam necessários novos investimentos em obras de geração. Além disso, o setor da construção civil apresenta diversas distorções no que se refere a desperdícios de energia na fase de construção e durante a gestão de prédios. Assim, o estudo dos processos térmicos que ocorrem no interior de edificações pode atuar diretamente no consumo de energia para condicionamento artificial de ambientes durante a gestão dos edifícios, podendo representar

uma redução de insumos energéticos no setor da construção civil, complementando ainda a função primordial de uma habitação, que é a de abrigar seus ocupantes, protegendo-os das intempéries. Ainda, há que se considerar que o projeto deve propiciar condições salubres para os futuros usuários.

Com o crescimento das cidades, ocorre também um aumento nos vários tipos de poluição ambiental (poluição do ar, da água, poluição visual, etc.). Um dos tipos de poluição muito comum em metrópoles como Curitiba, cidade com cerca de 1,6 milhão de habitantes, é a sonora (ZANNIN *et al.*, 2001, 2002). A poluição sonora é classificada pela Organização Mundial de Saúde como a que mais atinge a população mundial (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2003), depois da poluição do ar por emissões gasosas e da poluição da água. Essa conseqüência do crescimento das cidades é difícil de ser evitada. Ela pode ser minimizada mediante, por exemplo, planejamento urbano e leis que garantam um mínimo de conforto acústico aos habitantes urbanos. A poluição sonora urbana tem como agente caracterizador o ruído urbano ou ruído ambiental, considerado um ruído complexo, pois é composto de várias parcelas de ruídos emitidos por fontes secundárias, provenientes de fontes e atividades diversas (LIPS, 1999; FASOLD; VEREZ, 2003). Assim, para buscar-se pelo menos no retiro do lar o conforto acústico desejado, requerem-se moradias com isolamento acústico suficiente para proporcionar a seus moradores bem-estar físico e mental.

Este artigo agrupa resultados de duas pesquisas em habitação popular realizadas na Vila Tecnológica de Curitiba: avaliação do desempenho térmico e avaliação do desempenho acústico de fachadas e das paredes divisórias entre cômodos internos dessas moradias. Para o presente trabalho, compararam-se os resultados de ambas as avaliações para duas moradias habitadas: o sistema construtivo Batistella e o sistema construtivo Constroyer.

Materiais e métodos

Quanto ao estudo sobre a adequação climática de habitações sociais, as pesquisas se iniciaram com monitoramentos térmicos em habitações populares implantadas na Vila Tecnológica de Curitiba, a qual foi a primeira a ser criada no Brasil. A Vila Tecnológica tem hoje 100 casas habitadas por

famílias de baixa renda e mais 20 casas na Rua das Tecnologias para visitação pública. As casas foram construídas com os mais diversos materiais e sistemas construtivos.

No presente trabalho foram analisadas duas moradias habitadas e de sistemas construtivos diferenciados.

A avaliação térmica das moradias foi realizada com medições *in situ*.

Os equipamentos utilizados nas medições de temperatura e umidade relativa foram armazenadores (*dataloggers*) de temperatura e umidade da marca HOBO, para dois períodos: inverno (julho/agosto 2000) e verão (dezembro/janeiro 2000/2001) (DUMKE, 2002).

Para se obter informações mais precisas sobre o desempenho térmico das habitações, foram observados os padrões de uso das moradias (ocupação, operação de portas, janelas, equipamentos etc.)¹. Os aparelhos foram programados para medir a temperatura ambiente a cada 15 minutos, sendo os dados coletados integrados para uma hora e analisados posteriormente. Cada moradia teve seus valores de transmitância térmica e atraso térmico calculados pela Norma de Desempenho Térmico de Edificações, (ABNT, 2005a).

Para se avaliar o desempenho acústico das moradias da Vila Tecnológica, foram realizadas medições *in situ* do coeficiente de isolamento acústico das fachadas e do coeficiente de isolamento acústico das paredes divisórias entre cômodos.

Para a determinação desses coeficientes foram utilizados os seguintes equipamentos: 1) analisador acústico de dois canais em tempo real BK 2260; 2) fonte sonora dodecaédrica BK 4296; e 3) amplificador de potência BK 2716. As medições foram posteriormente processadas com o software Qualifier BK 7830 (BRÜEL; KJAER, 1995, 1998).

Os coeficientes de isolamento acústico de elementos construtivos externos, no presente caso as fachadas, foram medidos em conformidade com a norma ISO 140-5 (ISO, 1998). A determinação do “número único de isolamento de ruído” foi realizada em conformidade com a ISO 717-1 – Airborne sound

insulation, através do software Qualifier BK 7830 (ISO, 1996).

Os coeficientes de isolamento acústico entre cômodos foram determinados em conformidade com a norma ISO 140-4 (ISO, 1998). A determinação do “Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements” foi realizada conforme a ISO 717-1 – Airborne sound insulation, através do software Qualifier BK 7830 (ISO, 1996).

Descrição das moradias avaliadas

Sistema construtivo Batistella

Esse sistema construtivo (Figura 1) é composto de módulos e componentes pré-fabricados de madeira de reflorestamento próprio, da espécie *Pinnus taeda*, com tratamento em autoclave (AGUIAR; BAGATIN, 1995). Os principais componentes são: a placa de madeira do tipo *blockboard*, a viga de madeira laminada colada e a própria madeira seca.

As paredes internas e externas são constituídas de placas de madeira maciça reconstituída (*blockboard*), ou seja, formadas por miolo de sarrafos de madeira colados entre si e por duas lâminas coladas aos sarrafos (IPT, 1998). Os painéis são modulados em múltiplos de 0,305 m de largura, com geralmente 2,44 m de altura e 1,5 cm de espessura, fixados com pregos a montantes. As paredes externas e internas são compostas de painéis duplos com câmara de ar e perfazem 15 cm e 10 cm de espessura, respectivamente. As juntas de dilatação em poliuretano entre os painéis são cobertas com perfis de PVC. O revestimento externo é de resina acrílica e agregados minerais. Nesse caso, foram identificadas diferenças significativas entre a moradia exposta na Rua das Tecnologias (onde estão expostos os sistemas construtivos originais) e a efetivamente avaliada, que não possui painéis duplos, câmara de ar ou revestimento externo. Esta é composta apenas do painel *blockboard* simples de 1,5 cm, sendo as juntas entre os painéis cobertas por ripas de madeira.

As esquadrias são de madeira, do tipo guilhotina, com vidros simples (4 mm), voltadas para as faces sudeste e nordeste. Somente a janela do banheiro é basculante e voltada para noroeste.

¹ Há que se observar que esse levantamento foi feito por meio de questionários, em que o entrevistado declarava os possíveis horários de utilização de equipamentos, uso da moradia e operação das aberturas. Essas informações foram posteriormente comparadas aos resultados encontrados, mas, como não eram precisas, não serviram como variáveis explicativas nas análises.

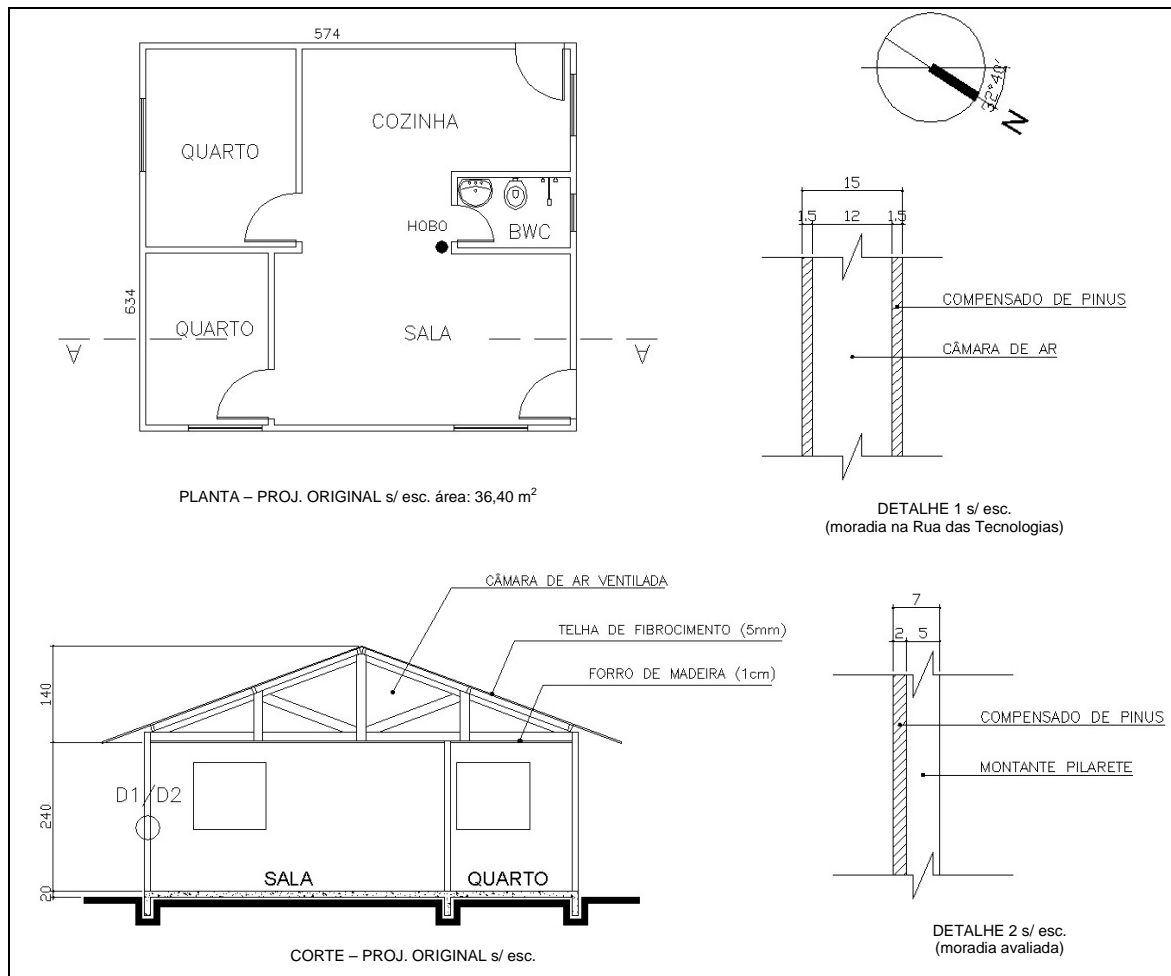


Figura 1 - Planta, corte e detalhes do sistema construtivo Batistella (DUMKE, 2002)

O contrapiso é de concreto, com acabamento em cimento alisado. O forro é executado em placas de madeira maciça reconstituída, tipo *blockboard*. A estrutura do telhado foi realizada em treliças de madeira e vigas laminadas coladas. Possui ático (câmara de ar ventilada) e telhas de fibrocimento de 5 mm, na cor cinza. O sistema construtivo Batistella emprega a subcobertura, aplicação de placas de madeira do tipo *blockboard* logo abaixo do ripamento das telhas, servindo de base para a aplicação de uma manta de espuma de polietileno (IPT, 1998). Nesse caso, também foram identificadas diferenças entre a moradia exposta na Rua das Tecnologias e a efetivamente avaliada, que não possui subcobertura e com o forro executado não em *blockboard*, mas em lambril de pinho.

Sistema construtivo Constroyer

Os principais elementos construtivos do sistema Cabrini Monolite, executado pela Constroyer (Figura 2), são o painel monolite e a argamassa estrutural. O painel tem seu núcleo de EPS (poliestireno expandido) envolto em telas de aço eletrossoldadas e argamassa projetada. O EPS possui seção transversal ondulada, de forma que as reentrâncias coincidam com os fios de aço longitudinais na montagem e constituam micropilares, tornando o painel autoportante e possibilitando sua utilização como vedação de parede e como laje de forro (DAHER; FRENDRICH, 1997).

As paredes são em painéis monolite com dimensões máximas de modulação de 1,25 m x 6 m, com espessura variável. O painel utilizado na moradia avaliada é constituído de uma placa de EPS

(poliestireno expandido), com espessura de 9 cm, entre telas de aço, com aplicação de 1,5 cm de argamassa estrutural em ambos os lados. A montagem das paredes é feita por engastamento dos painéis, gerando uma estrutura contínua em tela. A argamassa aplicada é de traço 1:3, de areia grossa e fina, cimento e fibras plásticas na proporção 0,5 kg/m³ de argamassa. Esse sistema apresenta peso reduzido e baixa utilização de mão-de-obra (AGUIAR; BAGATIN, 1995). A espessura total da parede da moradia avaliada é de 12 cm.

As esquadrias das janelas são de ferro de correr ou basculantes e estão voltadas para as quatro

orientações. As portas externas são de madeira, uma voltada para noroeste e outra, sombreada, voltada para sudeste.

O contrapiso é de concreto e recebe uma camada de cimento alisado. A cobertura é feita com painéis monolite (3,5 cm) revestidos com argamassa na face inferior (1,5 cm) e têm aplicação de uma camada de concreto na face superior (3 cm), perfazendo uma laje de espessura igual a 8 cm. Sobre esse conjunto estão assentados as ripas e o telhado cerâmico em cor natural, formando uma câmara de ar não-ventilada de aproximadamente 2,5 cm de altura (AGUIAR; BAGATIN, 1995).

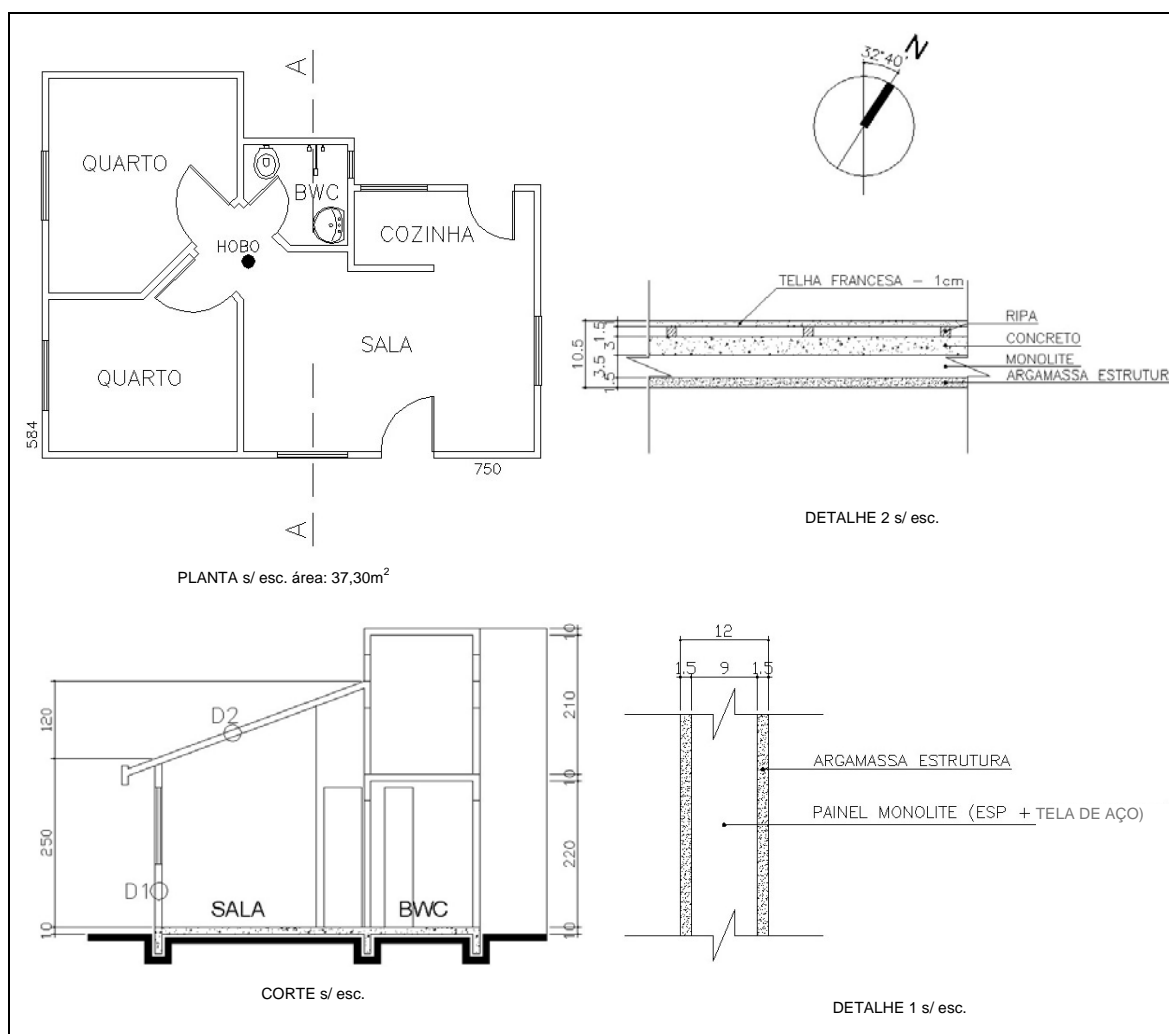


Figura 2 - Planta, corte e detalhes do sistema construtivo Constroyer (DUMKE, 2002)

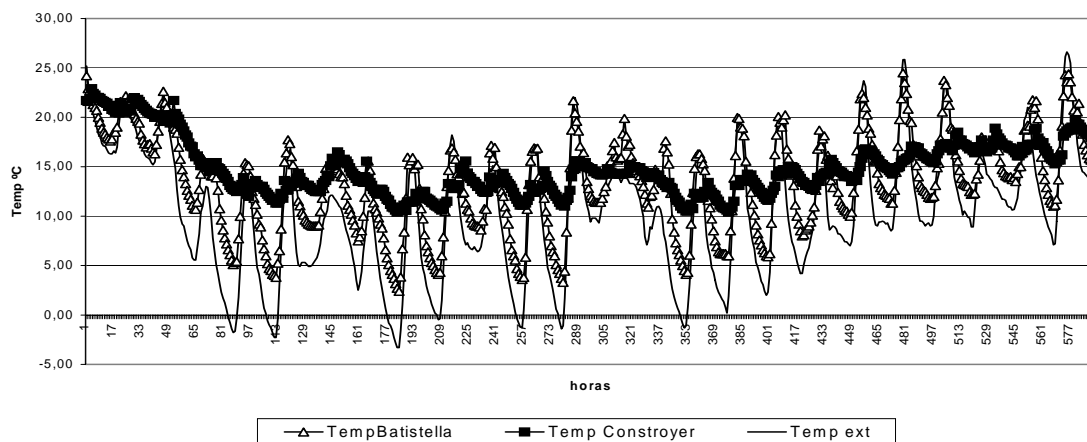


Figura 3 - Medições de inverno

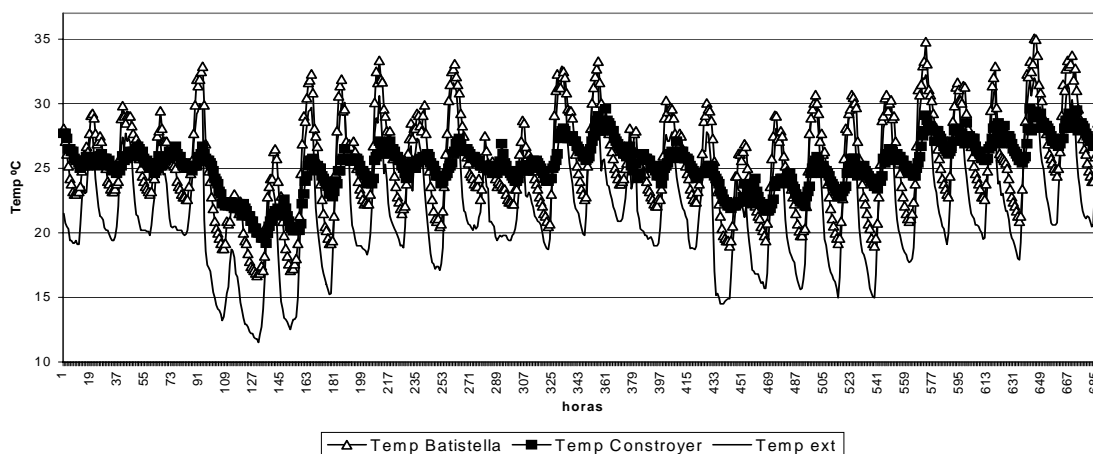


Figura 4 - Medições de verão

Avaliação do desempenho térmico

As medições foram realizadas no inverno e no verão, interna e externamente às moradias, abrangendo os seguintes períodos: de 09/07/2000 a 03/08/2000 (inverno) e de 12/12/2000 a 10/01/2001 (verão). Os resultados obtidos para ambos os períodos podem ser visualizados nas figuras abaixo.

Quanto aos valores externos, nota-se a grande oscilação em ambos os períodos das temperaturas externas, característica do clima local. A mínima no inverno atingiu o valor de $-3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, com máxima de $26,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ e, no verão, $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $32,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. A média das amplitudes térmicas externas diárias foi, para o inverno, de $11,3\text{ K}$ e, para o verão, de $11,5\text{ K}$.

Em ambos os períodos de monitoramento, observou-se que o sistema construtivo Constroyer amortece de forma marcante tanto os picos de temperatura quanto seus valores mínimos, enquanto o sistema construtivo Batistella acompanha as temperaturas mais altas, possivelmente devido à interferência dos usuários na lida com aberturas, amortecendo de certa forma as temperaturas mais baixas. É interessante observar que, das 18 moradias originais, monitoradas por Dumke (2002), foram exatamente as duas moradias aqui apresentadas que obtiveram a mais baixa e mais alta temperatura mínima interna e a maior e menor amplitude térmica interna no período de inverno. Dessa forma, o sistema Batistella apresentou uma temperatura mínima interna de $2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e uma amplitude de $22,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, e o sistema Constroyer, $10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

Tais características, verificadas no monitoramento de inverno, ocorreram mais uma vez no sistema Constroyer no verão, que apresentou a mais baixa temperatura máxima interna (29,6 °C, com grande potencial de amortecimento dos picos) e a menor amplitude térmica (10,4 °C). No caso da Batistella, na comparação com os demais sistemas monitorados, este não apresentou o menor grau de amortecimento térmico, mas foi consideravelmente inferior ao do sistema Constroyer, sendo a máxima interna de 35,05 °C (ou seja, acima da temperatura máxima externa) e a amplitude térmica interna de 18,35 °C.

Os resultados dos monitoramentos de ambos os sistemas foram comparados quanto às suas características termofísicas (transmitância térmica e atraso térmico), calculadas segundo a Norma de Desempenho Térmico de Edificações – ABNT NBR 15220-2 (2005a).

| Sistema Construtivo | Paredes externas | |
|---------------------|----------------------------------|-----------|
| | U [W/m²K] | φ [horas] |
| Batistella | 3,7 | 0,9 |
| Constroyer | 0,39 | 5,8 |
| Cobertura | | |
| Batistella | 2,02 (verão) e 3,75 (inverno) | 0,5 |
| Constroyer | 0,78 (verão) e 0,80 (inverno) | 7,0 |

Tabela 1 - Características termofísicas dos materiais empregados nas paredes externas e coberturas

As características dos materiais empregados indicam exatamente o que se verificou com as medições *in situ*. O sistema Batistella, por ser composto de materiais leves e de alta condutividade térmica, tanto nas paredes externas quanto na cobertura, oferece um forte contraste em relação ao sistema Constroyer, de baixa transmitância e, assim, de grande amortecimento térmico tanto no frio como no calor.

Curitiba se encontra na Zona Bioclimática 1, a mais fria das 8 Zonas Bioclimáticas da Norma de Desempenho Térmico de Edificações – ABNT NBR 15220-3 (2005b), correspondente a apenas 0,8% do território nacional. As diretrizes construtivas para essa zona são: 1) aberturas médias para ventilação (15% < A < 25% – as aberturas são dadas em % da área de piso em ambientes de longa permanência), e 2) sombreamento delas de modo a permitir a incidência de sol durante o período frio. Em relação às vedações externas, para Curitiba as paredes devem ser leves, e a cobertura leve e isolada. A Norma

estabelece como valores admissíveis para paredes e coberturas, respectivamente, $U \leq 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $U \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$; e $\phi \leq 4,3 \text{ h}$ e $\phi \leq 3,3 \text{ h}$.

Enquanto o sistema Constroyer, diferentemente do sistema Batistella, se conforma aos valores recomendados para a transmitância da envoltória, sendo essa conformidade refletida nos resultados obtidos em termos da temperatura interna, a conformidade com o que se recomenda quanto ao atraso térmico não se verifica para ambas as moradias. A inexistência de um limite inferior para o atraso térmico para o clima curitibano pode resultar em edificações que não se beneficiam da grande variabilidade térmica diária do clima local. A amplitude térmica diária varia entre 0,5 e 25,7 K, sendo a média 10,5 K.

Dessa forma, em vista dos resultados encontrados, pode-se supor que um sistema construtivo considerado “ideal” deveria ter características termofísicas intermediárias, não amortecendo tanto o interior, de forma a dificultar o ganho de calor durante dias frios, como ocorre no sistema Constroyer, e não sendo tão permeável à passagem da onda de calor, que é o que se verifica no sistema Batistella. A correta utilização de aberturas para aproveitamento solar, no caso do sistema construtivo Constroyer, poderia também influir no melhor desempenho da edificação em dias frios. Porém, o dimensionamento e a operação das janelas de modo a proporcionar ganhos solares no inverno não são tarefas triviais: um superdimensionamento das janelas (considerando a prática do uso de vidro simples em habitações populares) poderia gerar perdas de calor no período noturno, caso não se utilizasse algum tipo de isolamento da área envidraçada, além de ser necessário um sombreamento adequado dessa área envidraçada no verão; a correta operação das aberturas envidraçadas depende do entendimento do usuário quanto aos objetivos de manter janelas abertas durante dias frios e fechadas nos dias quentes.

Avaliação do desempenho acústico

Sistema construtivo Batistella

Na residência construída pelo sistema Battistela, foi medido o coeficiente de isolamento acústico da fachada e de uma parede divisória interna, ou seja, a parede divisória entre o quarto de dormir e a sala de estar, conforme pode ser visto na Figura 5.



Observação: as hachuras se referem às partições avaliadas: fachada – Medições conforme ISO 140-5 e partição interna – parede divisória entre dormitório e sala – Medições conforme ISO 140-4.

Figura 5 - Determinação do coeficiente de isolamento acústico de divisória interna e da fachada

Para a medição do coeficiente de isolamento acústico da fachada, recomenda a norma ISO 140-5 que se utilize o ruído de tráfego como fonte sonora. A escolha da fonte sonora para as medições pode ser então realizada no software Building Acoustics BZ 7204, que acompanha o analisador de ruído BK 2260. Para a determinação do coeficiente de isolamento acústico da divisória interna foi utilizada, na emissão do sinal acústico, a fonte sonora dodecaédrica BK 4296.

O valor do coeficiente de isolamento acústico, medido para a divisória interna, foi de $R_w^1 = 25$ dB.

A fachada apresentou um coeficiente de isolamento acústico de $R_w^1 = 18$ dB. Esse valor está bem abaixo do prescrito pela norma DIN 4109, a qual estabelece o valor para o isolamento acústico da fachada em função do nível de emissão sonora externo, conforme pode ser observado na Tabela 2. Para a moradia em questão, em função do nível de ruído externo, conforme a Figura 4, o isolamento acústico da fachada deveria ser de $R_w^1 = 30$ dB, em concordância com a faixa II da Tabela 2. Se considerarmos a situação percebida na Figura 6, em que em 125 Hz temos um nível externo de ruído de 67 dB(A), a exigência para o isolamento acústico da fachada será de $R_w^1 = 40$ dB.

Sistema construtivo Constroyer

Na residência construída pelo sistema Constroyer, foi medido o coeficiente de isolamento acústico da

fachada e de uma parede divisória interna, ou seja, a parede divisória entre o quarto de dormir e a sala de estar, conforme pode ser visto na Figura 7.

O procedimento de emissão sonora foi o mesmo descrito anteriormente. A Figura 8 apresenta o espectro do ruído de tráfego utilizado como fonte sonora.

O valor do coeficiente de isolamento acústico medido para a divisória interna avaliada foi de $R_w^1 = 30$ dB.

O valor do coeficiente de isolamento acústico medido para a fachada foi de $R_w^1 = 18$ dB. Observando a Tabela 2, vemos que, para o contexto de ruído externo em que a moradia encontra-se envolvida, o coeficiente de isolamento acústico da fachada deveria ser, segundo a norma DIN 4109, de no mínimo $R_w^1 = 30$ dB (faixa II, Tabela 2). Considerando-se a situação do nível de ruído de aproximadamente 63 dB(A) em 125 Hz, o isolamento acústico da fachada deveria ser de $R_w^1 = 35$ dB.

A Tabela 3 mostra-nos os valores mínimos exigidos pela norma DIN 4109 e pela norma VDI 4100 - Verein Deutscher Ingenieure (Associação de Engenheiros Alemães) para o isolamento acústico de paredes em diversas situações de uso.

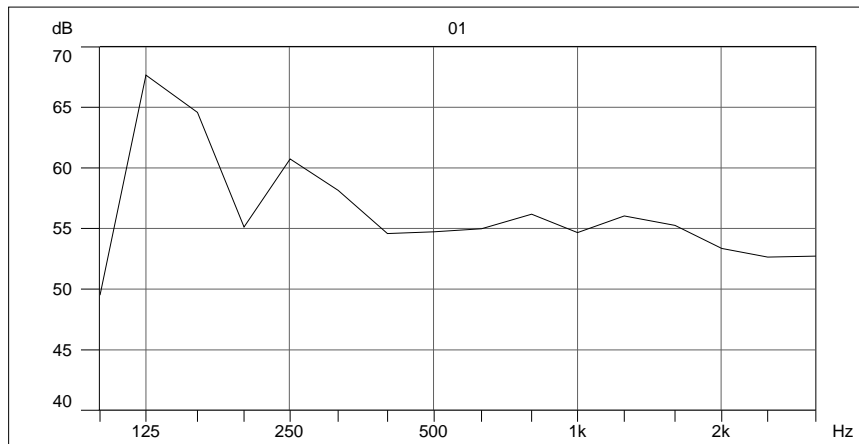
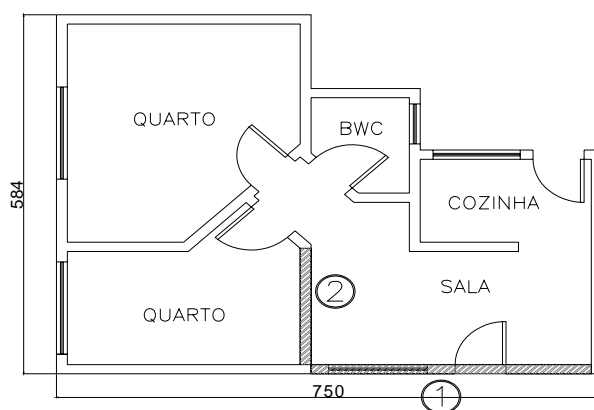


Figura 6 - Espectro do ruído de tráfego utilizado como fonte sonora

| Faixa de emissão sonora | Nível Sonoro – Ruído Externo L_{eq} dB(A) | Quartos em Hospitais $R^1_{w, yes}$ (dB) | Salas de estar em moradias; quartos de dormir em residências; quartos de hotel; salas de aula e similares $R^1_{w, yes}$ (dB) | Escritórios e similares $R^1_{w, yes}$ (dB) |
|-------------------------|--|---|--|--|
| I | Até 55 | 35 | 30 | - |
| II | 56 até 60 | 35 | 30 | 30 |
| III | 61 até 65 | 40 | 35 | 30 |
| IV | 66 até 70 | 45 | 40 | 35 |
| V | 71 até 75 | 50 | 45 | 40 |
| VI | 76 até 80 | 1) | 50 | 45 |
| VII | Acima de 80 | 1) | 1) | 50 |

Onde: $R^1_{w, yes}$ é o coeficiente de isolamento acústico resultante da relação entre parede externa + janela e tamanho do ambiente limitado pela fachada em estudo.

Tabela 2 - Isolamento sonoro para fachada - DIN 4109



Observação: as hachuras se referem às partições avaliadas: na fachada as medições foram conforme a ISO 140-5; na partição interna – parede divisória entre dormitório e sala – as medições foram conforme a ISO 140-4.

Figura 7 - Determinação do coeficiente de isolamento acústico de divisória interna e da fachada

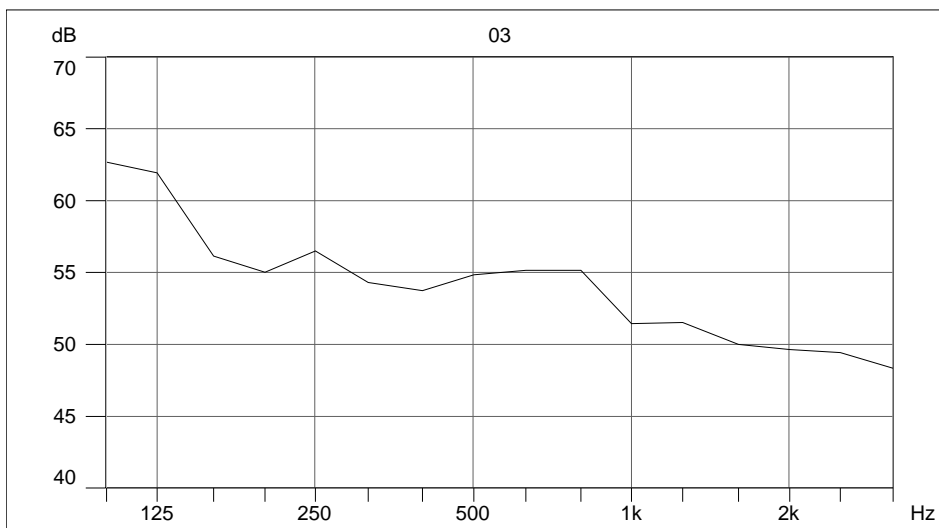


Figura 8 - Espectro do ruído de tráfego utilizado como fonte sonora

| | DIN 4109 R_w^1 dB | VDI 4100 R_w^1 dB |
|---|------------------------|---|
| Parede divisória externa | Mínimo 57 ≥ 67 | |
| Parede entre quartos Parede entre quartos e corredores | Mínimo 47 ≥ 52 | |
| Parede junto à passagem de veículos | 55 | |
| Parede entre salas de aula | 52 | |
| Parede de separação entre moradias conjugadas | Mínimo 53 ≥ 55 | SSt I – 52 SSt II - 56 SSt III – 66 |
| Paredes divisórias internas | | SSt I - 36 SSt II - 47 SSt III – 51 |

SSt I - *Schallschutzstufe I* – (Controle de ruído nível I) – Estabelece o nível mínimo de isolamento acústico visando à tranquilidade dos moradores. Não garante que o ruído externo, que o ruído gerado pela vizinhança ou gerado na própria moradia não sejam mais percebidos. Esse nível de controle de ruído estabelece que nos espaços internos da moradia não seja gerado nenhum ruído elevado não convencional. Estabelece ainda a necessidade de conscientização dos moradores para a não-geração de ruídos desnecessários.

SSt II - *Schallschutzstufe II* – (Controle de ruído nível II) – Mantém as diretrizes do SSt I, considerando ainda que a “fala” em moradias da vizinhança são passíveis de serem ouvidas mas não entendidas. Este nível de controle de ruído é esperado em moradias que garantam em sua planificação outros aspectos do conforto, tais como térmico e lumínico.

SSt III - *Schallschutzstufe III* – (Controle de ruído nível III) – O nível de controle de ruído III garante aos seus moradores um elevado nível de tranquilidade. Ruídos externos são praticamente imperceptíveis. A proteção da esfera privada é também garantida fortemente, ou seja, a “fala” em níveis elevados é praticamente imperceptível. O som gerado por instrumentos musicais na residência vizinha pode talvez ser ouvido e com isso transformar-se em incômodo. Este nível de controle de ruído é esperado em moradias que garantam em sua planificação outros aspectos do conforto, tais como térmico e lumínico.

Tabela 3 - Coeficiente de isolamento acústico para diferentes usos de paredes, segundo as normas DIN 4109 e VDI 4100

Como se pode observar, os valores de isolamento acústico da Tabela 3 mostram que as paredes internas avaliadas, para ambos os modelos construtivos, apresentam um desempenho acústico bem abaixo do estabelecido pelas normas alemãs DIN 4109 e VDI 4100. O isolamento acústico da parede interna no sistema Battistella foi de $R^1_w = 25$ dB e no sistema Constroyer foi de $R^1_w = 30$ dB.

Conclusões

As medições dos coeficientes de isolamento acústico mostraram que ambos os modelos construtivos, Battistella e Constroyer, apresentam um desempenho acústico muito baixo, especialmente as fachadas, quando avaliados pela norma DIN 4109 e VDI 4100. No Brasil não existe ainda uma norma que preconize valores para os coeficientes de isolamento acústico aqui medidos: fachada e entre partições internas. Contribuiu também para o baixo desempenho acústico da fachada o estado sofrível de conservação de portas e esquadrias (caixilhos). Segundo Baring (1990), o caixilho é o principal elemento responsável por determinar o coeficiente de isolamento acústico de uma janela. O baixo desempenho acústico das moradias avaliadas mostrou que elas não cumprem o seu papel de oferecer conforto acústico aos seus moradores.

Notou-se que, para o desempenho térmico, os materiais usados na envoltória passam a ser determinantes tanto nos ganhos/perdas de calor através dos elementos construtivos quanto em sua capacidade de armazenar e reter calor. A maior inércia do sistema Constroyer mostrou-se mais favorável a um bom desempenho térmico.

Em vista dos resultados encontrados, pode-se apontar duas perspectivas de trabalho. De um lado, há que se estabelecerem padrões mínimos de desempenho para habitações sociais (nesse sentido, vem contribuindo a criação de normas de desempenho mínimo, atualmente em discussão no Comitê Brasileiro 2 (CB-2) da ABNT. De outro, é de extrema importância que tais normas sejam respeitadas. O aspecto baixo custo não deveria condicionar estratégias de desenho nem significar baixo desempenho das edificações destinadas à população de baixa renda.

Quanto aos métodos utilizados na pesquisa, algumas dificuldades foram encontradas, condicionadas ao fato de as avaliações partirem de moradias já construídas e efetivamente habitadas. Pode-se citar algumas delas: a dificuldade de se obterem

informações precisas quanto à operação de aberturas e quanto ao uso e ocupação das moradias; a utilização de sensores de armazenadores da temperatura ambiente posicionados em apenas um local da moradia (centro), de modo a cobrir um grande número de moradias na avaliação de desempenho e também a fim de não causar incômodo às famílias; e a necessidade de geração de ruído automotivo para a avaliação de isolamento acústico, em virtude de o bairro ser tipicamente residencial. Entretanto, os resultados puderam mostrar um padrão geral de desempenho, que, apesar de impreciso, pode nortear uma escolha futura de melhores estratégias projetuais para a habitação de interesse social em Curitiba.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações - parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. São Paulo, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações - parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. São Paulo, 2005b.

AGUIAR, E. C. C.; BAGATIN, A. C. **A criatividade na construção civil gerando sistemas construtivos, equipamentos e tecnologias**. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Obras) - CEFET-PR, Curitiba., 1995.

BARING, J. G. A. **O desempenho acústico de caixilhos de fachada no contexto do controle da poluição sonora urbana**. 217 p. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990

BRÜEL & KJAER. **Technical documentation 2238 Integrating and Logging Sound Level Meter**. Naerum – Denmark, 1995.

BRÜEL & KJAER. **Technical documentation 2260 Integrating and Logging Sound Level Meter**. Naerum – Denmark, 1998.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG – DIN. **DIN 4109**: Schallschutz im Hochbau. Germany, 1989.

DAHER, C. Z.; FRENDRICH, R. **Levantamento patológico e testes de avaliação dos sistemas da Vila Tecnológica de Curitiba**. v. 1. Curitiba: INTEC/PUC-PR, 1997.

DUMKE, E. M. S. **Aplicação do conceito de tecnologia apropriada em habitação de interesse social avaliação do desempenho térmico e recomendações**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, CEFET-PR, Curitiba, 2002.

FASOLD, W.; VEREZ, E. **Schallschutz und Raumakustik in der Praxis**. 2. ed. Berlin: Verlag für Bauwesen, 2003.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil 2000**. Belo Horizonte: FJP/Governo de Minas Gerais, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARTIZATION – ISO. **ISO 717-1**: acoustic – rating of sound insulation in buildings and of building elements –part 1: airborne sound insulation. Geneva, 1996.

INTERNATIONAL STANDARTIZATION ORGANIZATION – ISO. **ISO 140-4**: acoustic – measurement of sound insulation in building and of building elements – part 4: field measurements of airborne sound insulation between rooms. Geneva, 1998.

INTERNATIONAL STANDARTIZATION ORGANIZATION – ISO. **ISO 140-5**: acoustic – measurement of sound insulation in building and of building elements – part 5: field measurements of airborne sound of façade elements and façades. Geneva, 1998.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). **Catálogo de Processos e Sistemas Construtivos para Habitação**. São Paulo: IPT, 1998.

LIPS, W. **Lärmbekämpfung in der Haustechnik**. 1. ed. Berlin: Expert-Verlag, 1999. 404 p.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. **VDI 4100**: Schallschutz von Wohnungen – Kriterien für Planung und Beurteilung. Düsseldorf, 1994.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). **Résumé d’Orientation des Directives de l’OMS Relatives au Bruit dans l’Environmental**. Disponível em: <<http://www.who.int/home.page/>>. Acesso em: 5 abr. 2003.

ZANNIN, P. H. T.; DINIZ, F. B. Environmental noise pollution in residential areas of the city of Curitiba. **Acustica Acta Acustica**, Brasil, n. 87, p. 625-628, 2001.

ZANNIN, P. H. T.; DINIZ, F. B. D.; FERREIRA, J. A. C.; SCHUHLLI, R. Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba, PR. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 521-524, 2002.