

RUÍDO E CONFIGURAÇÃO ESPACIAL URBANA: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE BELÉM DO PARÁ

NOISE AND URBAN SPACE CONFIGURATION: A CASE STUDY IN THE CITY BELÉM OF PARÁ

Vânia Raposo de Moura ¹

Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, vania.moura@itec.ufpa.br

Gustavo da Silva Vieira de Melo ²

Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, gmelo@ufpa.br

Wagner de Sousa Santos ³

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, wagsousa16@gmail.com

Resumo

Grande parcela da população que habita os centros urbanos já sofreu ou vem sofrendo por problemas decorrentes do ruído urbano, devido, dentre outros fatores, especialmente à proximidade de vias de tráfego intenso de veículos. Estudos em diversas áreas de conhecimento vêm apresentando os possíveis malefícios causados aos indivíduos em consequência do grande tempo em que ficam submetidos aos elevados níveis de ruído. Em se tratando dos ambientes externos às edificações poucas medidas têm sido tomadas. Os estudos a esse respeito revelam conflitos entre as diretrizes urbanísticas para o planejamento, uso e ocupação do solo e o conforto acústico. O objetivo principal deste trabalho é estudar as interações entre ruído urbano (em especial, o ruído de tráfego) e a configuração espacial urbana, utilizando uma região do bairro do Marco, em Belém-PA, às proximidades da Avenida Almirante Barroso, como campo experimental. Para tanto, foi criada uma metodologia baseada em teorias e em normas que abordam esse tema e que possibilitam a obtenção de índices característicos (rugosidade, porosidade e centralização) da massa edificada. A comparação destes índices com os níveis sonoros obtidos a partir dos valores coletados *in loco* (com o auxílio de um aparelho medidor de nível de pressão sonora), favorece a identificação das características físicas da forma urbana que influenciam no ambiente sonoro exterior e podem servir como subsídios ao planejamento e desenho das cidades, impedindo a formação de futuras áreas de extrema insalubridade sonora.

Palavras-chave: Ruído urbano. Índices urbanísticos. Configuração urbana.

Abstract

A large portion of the population that lives in urban centers has already suffered or is suffering from problems caused by urban noise, especially due to, among other factors, the proximity to roads of intense traffic of vehicles. Studies of several areas of knowledge are exposing possible harms caused to people as a consequence of a long exposure to high noise levels. Regarding the external environment, few measures were taken. Studies about this reveal conflicts between the urban guidelines for the urban development, land use and occupation and the acoustic comfort. The main objective of this work is to study the interactions between urban noise (especially regarding traffic noise) and urban space configuration, using as experimental field an area of Marco neighborhood of Belém-PA, near Almirante Barroso Avenue. For this, a methodology was created based on standards and theories that approach this theme and makes it possible to obtain built mass characteristic indexes (roughness, porosity, concentration and porosity). The comparison of these indexes with sound levels obtained through "in loco" collected data (using a sound pressure level meter), allows the identification of the urban form physical characteristics that influence external sound environment and that can serve as subsidies to the urban planning and design, preventing the formation of extremely unhealthy sound areas.

Keywords: Urban noise. Urban indexes. Urban configuration.

How to cite this article:

MOURA, Vania Raposo; MELO, Gustavo da Silva Vieira de; SANTOS, Wagner Sousa. Ruído e configuração espacial urbana: um estudo de caso na cidade de Belém do Pará. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 237-251, dez. 2016. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647164>>. Acesso em: 13 maio 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v7i4.8647164>.

Introdução

Grande parcela da população que habita os centros urbanos já sofreu ou vem sofrendo por problemas causados pelo ruído urbano, devido à proximidade de importantes vias de tráfego de veículos, indústrias, bares, casas de show ou obras de construção civil.

De acordo com Long (2005) a transmissão de ruído ao ar livre de um ponto para outro é discutida em termos de um modelo que envolve a fonte, o caminho de propagação e o receptor, onde a fonte é descrita pelo seu nível de potência sonora, o caminho é caracterizado por vários mecanismos de atenuação, como distância ou barreiras, e o receptor é um local onde um nível deve ser calculado ou um critério deve ser cumprido. Quando o ponto de medição está próximo da fonte, mecanismos de atenuação, que não a distância e diretividade, têm pouco efeito sobre o nível recebido. À medida que a distância fonte-receptor aumenta, mais e mais mecanismos entram em jogo até que, a grandes distâncias, considerações ambientais tais como perdas devidas à absorção sonora do ar, atenuação do solo, velocidade e direção do vento podem ser de grande importância, apesar de não ser o enfoque principal desta pesquisa.

A maioria das soluções de controle de ruído, entretanto, é aplicada em ambientes internos, e, algumas destas, ainda favorecem a intensificação do ruído no ambiente exterior (VILLAS BOAS, 1985). Surge, então, a necessidade de se desenvolverem trabalhos mais voltados aos espaços externos às edificações, na busca de satisfazer às exigências e necessidades fisiológicas de todos.

Em países tropicais, especialmente nas regiões quentes e úmidas (como é o caso de Belém-PA), onde as edificações devem ser necessariamente bem ventiladas, com amplas janelas e espaços abertos, o controle do ruído urbano é de fundamental importância na preservação da saúde e equilíbrio emocional das pessoas. Este controle, por sua vez, pode se tornar menos dispendioso e mais eficaz, se forem incorporadas no planejamento do uso do solo considerações sobre a qualidade do ambiente sonoro e padrões de conforto acústico.

Um estudo que enfatiza a relação entre o ruído urbano e a forma urbana permite o estabelecimento dos padrões de configuração do ambiente construído, auxiliando no desenvolvimento de práticas de controle de ruído no planejamento das cidades. Além disso, uma sistematização mais objetiva dos dados levantados in loco pode ajudar nas interpretações dos resultados apresentados em mapas acústicos e resolver alguns problemas observados (a priori, sem resposta justificável).

Um ruído pode ser atenuado pela distância entre a fonte sonora e o receptor, pela presença de terreno interposto,

pela presença de obstáculos nas proximidades da fonte e pelo tipo de desenho de vias de veículos; e pode ser aumentado devido a reflexões sobre as edificações, ao efeito “de vale” promovido por vias entre prédios (quanto maior a relação altura dos edifícios/largura da rua, maior o aumento do ruído), ou à concentração de tráfego (RAMON, 1980 apud VILLAS BOAS, 1985).

Devido às tantas variáveis envolvidas nesse tipo de pesquisa, atualmente, pesquisadores vêm tentando resolver os problemas decorrentes do ruído urbano, utilizando em suas análises o mapeamento sonoro gerado por programas computacionais (MORAES; SIMÓN, 2008). Entretanto, este artigo investiga a hipótese de que a análise sistemática da forma urbana, conjuntamente ao estudo de fatores ambientais, possibilita a elaboração de índices urbanísticos característicos (como porosidade, rugosidade e descentralização), promovendo uma leitura com boa precisão sobre determinada área urbana e, conseqüentemente, a comparação entre ambientes acústicos distintos, como alternativa complementar a simulações e medições in loco.

O objetivo geral desta pesquisa foi de estudar as interações entre ruído urbano (em especial, o ruído de tráfego) e a configuração espacial urbana em determinadas regiões da cidade de Belém-PA. Identificar as características físicas da forma urbana que influenciam no ambiente sonoro das regiões estudadas (larguras e formas das vias, densidade construtiva, forma e distribuição espacial das edificações), que possam servir como subsídios ao planejamento e desenho das cidades.

Como objetivos específicos, podemos citar: verificar a correlação entre o nível de pressão sonora obtido experimentalmente com os níveis de pressão sonora calculados a partir de modelos da literatura e comparar os níveis de ruído obtidos in loco com os índices urbanísticos de porosidade, rugosidade e descentralização, elaborados a partir de normas e teorias sobre o assunto.

Revisão bibliográfica

A preocupação com o bem-estar do ser humano e a melhoria da qualidade de vida nas cidades têm sido fatores impulsionadores de diversas pesquisas relacionadas com o ruído urbano.

A subjetividade é prioridade nos trabalhos de Lima e Moraes (2011), Brito et al. (2011) e Carvalho, Moraes e Simon (2011), uma vez que analisam o incômodo do ruído sob o ponto de vista dos moradores locais.

Lima e Moraes (2011) analisam o incômodo causado pelo ruído urbano sobre os residentes do Centro Histórico e Patrimonial de Belém-PA. Utilizam um questionário para coletar a opinião dos moradores a respeito das

principais fontes de ruído e registrar os efeitos negativos por estes ressaltados. Observam que a principal fonte de ruído apontada é proveniente do tráfego de veículos, e que, segundo os moradores, o bairro ficou mais ruidoso após a implantação do projeto de revitalização.

Brito et al. (2011) avaliam o incômodo provocado aos moradores de um edifício pelo ruído advindo de aparelhos de ar-condicionado de grande porte. A partir da observação das diversas fontes presentes e da coleta de informações (questionários) dos principais incômodos ressaltados pelos moradores, efetuam medições in loco de nível de pressão sonora e concluem, a partir da análise dos resultados, que a maior contribuição desses elevados níveis de ruído não é dos aparelhos apontados pelos entrevistados e sim do tráfego de veículos, que ocorre de forma intermitente.

Brioschi e Viveiros (2011) observam o caso dos transeuntes e investigam como a forma de distribuição das edificações interage com os níveis sonoros em ambientes urbanos. A partir do mapeamento sonoro (obtido com o programa computacional) de diferentes cenários urbanos, com variações dos afastamentos frontais (distância entre edificação e rua), observam que o aumento do afastamento pode beneficiar um transeunte no meio público, mas pode prejudicar um indivíduo localizado no fundo do lote, situado posteriormente aos edifícios.

Sapata (2010) desenvolve um estudo sobre os impactos do ruído de tráfego de uma avenida em Maringá-PR, a partir de um monitoramento in loco de fontes sonoras e níveis de pressão sonora, e simula, com o auxílio de software computacional, um cenário urbano com as edificações alcançando o nível máximo do gabarito permitido pela legislação municipal. Observa que o trecho em estudo pode tornar-se um 'cânion urbano', acentuando o ruído de tráfego e atingindo níveis acima dos permitidos pelas normas brasileiras. Sugere que mapas de ruído sejam usados como instrumentos de planejamento urbano antes de se determinarem as normas de uso e ocupação do solo, para assegurar a qualidade ambiental.

Todos esses estudos se baseiam nas legislações locais e alguns deles revelam conflitos nas diretrizes urbanísticas no que se refere ao conforto acústico. Moraes, Coutinho e Simón (2010) verificam a incongruência da implantação de grande empreendimento (como um Shopping) em zonas urbanas centrais e de preservação histórica, devido ao aumento de ruído (de tráfego) por este provocado; Sapata (2010) observa que, mesmo dentro das normas, o crescimento vertical das cidades pode ser altamente prejudicial à população, colaborando com a poluição sonora urbana; e Marques (2010) comenta que o planejamento urbano e a gestão do uso e ocupação do

solo devem ser avaliados dentro de um contexto multidisciplinar que envolva, além dos aspectos ambientais, aspectos sociais, econômicos e culturais.

A revisão bibliográfica demonstra que poucos pesquisadores têm investigado a influência da forma da massa edificada e sua densidade construtiva no nível sonoro ambiental do entorno, revelando apenas em Guedes (2005) e Marques (2010) uma análise mais ampla desta relação.

Fundamentação Teórica

Equação Básica da Propagação Sonora ao Ar-livre

Segundo Bistafa (2011), para uma fonte omnidirecional, a equação básica da propagação sonora ao ar-livre é dada, em forma aproximada, por:

$$L_p = L_w + DI - 20 \log(r) - 8 \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde L_p representa o nível de pressão sonora (dB) a uma distância r (m), de uma fonte sonora com nível de potência sonora L_w (dB) e direcionalidade DI (dB). O fator "8" representa o caso de uma fonte omnidirecional situada sobre uma superfície rígida (fonte hemisférica).

Ruído urbano

Ruído urbano é o ruído ambiental proveniente do meio urbano. Ou seja, é produzido por todas as fontes múltiplas, fixas e móveis, que integram determinado ambiente sonoro de uma área urbana: tráfego de veículos (automóveis, trens e aviões), máquinas (aparelhos de ar-condicionado ou calefação, britadeiras e serras elétricas), alarmes, sirenes, aparelhos de som, cultos religiosos, casas noturnas e latidos de cães.

A poluição sonora não prejudica somente a audição, apesar de seus efeitos serem percebidos e melhor caracterizados nesse sentido. Provoca também outros graves problemas de saúde, dependendo da intensidade e tempo de exposição do ruído a que os indivíduos são submetidos (BUENO, 1995). Ou seja, além dos efeitos no aparelho auditivo, como a perfuração do tímpano ou a perda temporária ou permanente da audição (podendo levar à surdez total), o ruído provoca efeitos não auditivos fisiológicos, psicológicos e/ou comportamentais (BARRIO, 1997).

A interferência de um ruído muito intenso com outros sons prejudica a discriminação de sons; afeta, segundo Fitch (1976 apud VILLAS BOAS, 1995), o desempenho das atividades (ler, escrever e trabalhar); dificulta o aprendizado, a concentração e a comunicação oral; interfere no sono e no repouso, no lazer e até no relacionamento dos indivíduos (dificuldade de comunicação oral).

Gerges (2000) ressalta que a poluição sonora provoca complicações nos sistemas circulatórios e hormonais. Bistafa (2011) acrescenta que ela também pode provocar distúrbios respiratórios além de desencadear distúrbios mentais.

A tabela 1 apresenta o nível de critério de avaliação a ser considerado nas avaliações de níveis de ruído para diversas áreas em ambientes externos, segundo a NBR 10.151 (2000).

Tabela 1 - Nível de critério de avaliação NCA p/ ambientes externos, em dB(A).

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10151 (ABNT, 2000).

Forma Urbana

De modo simplificado, a forma urbana corresponde ao meio físico construído por um conjunto de objetos arquitetônicos ligados entre si por relações espaciais (LAMAS, 1974).

Pereira (1982, apud OLIVEIRA, 1987) definiu a forma urbana como um “produto das relações estabelecidas pelo homem entre a morfologia da massa edificada e a morfologia dos espaços exteriores de permanência e circulação, e entre essas morfologias e a morfologia do solo/paisagem (geomorfologia do sítio urbano)”. Esta definição, conseqüentemente, exige o conhecimento dos diversos arranjos morfológicos (massa edificada, morfologia dos espaços exteriores e morfologia do solo/paisagem) com certa descontinuidade da massa edificada em relação aos outros arranjos (OLIVEIRA, 1987).

Elementos da forma urbana

A massa edificada e os espaços que permeiam, ou seja, os cheios e vazios urbanos são os elementos estruturais da forma urbana. São eles que permitem a leitura dos demais elementos morfológicos urbanos, como: o sítio, o lote, a fachada, o traçado ou a rua, o monumento, o mobiliário urbano, os edifícios, o quarteirão ou a quadra, a calçada, a praça e a vegetação.

A avaliação ambiental qualitativa da forma urbana é feita a partir da identificação do clima pré-existente ou potencialmente semelhante ao da área rural do entorno urbano e do conjunto de relações e características morfológicas condicionantes ambientais da forma urbana (VILLAS BOAS, 1985; OLIVEIRA, 1987).

Dentre as características (ou atributos) da forma urbana que influenciam os condicionantes climáticos locais (temperatura e umidade relativa do ar) e alteram o ambiente acústico, quanto ao sítio (relevo) e à massa edificada (tipologia urbana), estão: a conformação espacial, a **densidade de construção**, a **porosidade**, a espessura, a **rugosidade**, o uso do solo, a orientação, a permeabilidade do solo, as propriedades dos materiais constituintes e a vegetação (VILLAS BOAS, 1985; NASCIMENTO, 1995; GUEDES, 2005).

A densidade de construção se refere à taxa de ocupação, que é o valor percentual entre a área de projeção da massa edificada sobre o plano horizontal e a área total de uma determinada região. As áreas mais densas, ou seja, aquelas com altas taxas de ocupação do solo tendem a apresentar maior concentração de ruído em comparação com as áreas mais dispersas quando as fontes estão no interior dessas áreas (VILLAS BOAS, 1985), ocorrendo o inverso quando as fontes são externas a essas áreas.

Porosidade é o atributo da forma urbana que determina uma maior ou menor permeabilidade a manifestações na atmosfera (tais como penetração dos ventos e propagação de ruídos) na estrutura urbana. Depende da estrutura de parcelamento e do índice de ocupação da malha urbana, e é expressa através da relação entre espaços abertos (vazios) e espaços confinados (cheios) (VILLAS BOAS, 1985).

Espaços delimitados por estruturas não porosas (edifícios, muros ou barreiras), ditas opacas à passagem das ondas sonoras, tendem a apresentar menor intensidade de ruído quando as fontes estão localizadas fora dos espaços, e maior intensidade quando as fontes estão em seu interior; enquanto espaços delimitados por estruturas porosas tendem a apresentar menor intensidade de ruído quando as fontes de ruído estão localizadas dentro desses espaços. Quando as fontes estão fora, o inverso é verdadeiro (VILLAS BOAS, 1985).

O conceito de porosidade está também intimamente ligado à orientação. Em meio urbano, por exemplo, dependendo da orientação e dos recuos (distâncias horizontais) entre os obstáculos e/ou edificações, ocorre uma maior ou menor permeabilidade de um tecido urbano ao ruído proveniente do tráfego de veículos (GUEDES, 2005).

Oliveira (1987) define a rugosidade como uma relação que combina a porosidade com variações nas alturas das edificações e, de modo semelhante, Wieringa, Davenport e Grimmond (2001) consideram a rugosidade como uma relação entre as diversas variáveis da forma urbana que contribuem para tornar o fluxo de ar de laminar em turbulento, próximo à superfície terrestre.

Com base nos conceitos da norma NBR 6405 (ABNT, 1985), que define a rugosidade de uma superfície, a rugosidade urbana pode ser entendida como o conjunto de irregularidades ou de pequenas saliências e reentrâncias, que caracterizam uma superfície da forma urbana e que entram em contato direto com as massas de ar. Influi na resistência oferecida pela superfície ao escoamento de fluido, neste caso, do ar e, conseqüentemente, interfere na propagação do ruído.

Modelos de previsão de ruído de tráfego

Devido a essa complexidade, em avaliações de ruído ambiental em meio urbano é comum recorrer-se a modelos matemáticos de previsão do ruído de tráfego - modelos que procuram prever valores de níveis de pressão sonora a partir de parâmetros do tráfego de veículos automotores -, uma vez que a contribuição deste costuma ser mais relevante que a das demais fontes de ruído urbano.

A vantagem na predição do nível de ruído equivalente, segundo Bistafa (2011), é que esta independe das características aleatórias do tráfego, não importando se o trânsito está fluindo livremente ou está sujeito a congestionamentos (ao contrário dos níveis estatísticos L10, L50 e L90, que se mostram muito sensíveis às características aleatórias do tráfego).

Alguns desses modelos usados na literatura para estimar o nível de ruído produzido pelo tráfego de veículos em vias urbanas são os propostos por: Calixto (2002), Çelenk et al. (1997); FHWA (1995); e Josse (1975).

O modelo de Calixto (2002) propõe para a previsão do nível de ruído de tráfego equivalente, a 25 m, a seguinte equação:

$$L_{eq} = 7,7 \log[q(1 + 0,095 p_p)] + 43 \quad (\text{Eq. 02})$$

Onde L_{eq} é o nível de ruído de tráfego equivalente (dB(A)), q é o fluxo de veículos (número de veículos/hora) e p_p é a porcentagem de veículos pesados (%).

Calixto (2002) optou por um modelo mais simples (de maior facilidade operacional), com duas variáveis (o fluxo de veículos e a porcentagem de veículos pesados), mesmo ressaltando que a composição do tráfego é também um fator importante na determinação dos níveis de ruído.

O modelo proposto por Çelenk et al. (1997) para previsão do nível de ruído em dB(A) proveniente dos veículos, nas proximidades de uma rodovia, é dado por:

$$L_{eq} = 10 \log(q) + 20 \log(v) - 10 \log\left(d + \frac{w}{3}\right) + k_c + 14 \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde v é a velocidade média dos veículos (km/h); d é a distância entre o receptor e o eixo da via (m); w é a largura da rodovia (m); k_c é o fator de correção para o tipo de revestimento (igual a 4, para revestimento asfáltico).

O cálculo do nível de ruído proveniente de uma via de tráfego, na calçada, proposto por Josse (1975), e utilizado pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) é dado, em dB(A), por (CALLAI, 2011):

$$L_{eq} = 52 + 10 \log\left(\frac{q}{d}\right) + C_v + C_i + C_p \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde q é o fluxo de veículos (número de veículos/hora), d é a distância entre o eixo da pista e a borda da calçada (m), C_v é a correção devido à velocidade média dos veículos (dB(A)), C_i é a correção devido à inclinação da pista (dB(A)), e C_p é a correção devido à porcentagem de veículos pesados (dB(A)).

O modelo de predição de ruído de tráfego desenvolvido pelo Departamento de Federal de Transporte dos Estados Unidos da América (FHWA), é aplicável ao tráfego rodoviário contínuo e é representado pela equação 05 (BISTAFA, 2011):

$$L_{eq_{total}} = 10 \log\left(10^{\frac{L_{eqa}}{10}} + 10^{\frac{L_{eqcl}}{10}} + 10^{\frac{L_{eqcp}}{10}}\right) \quad (\text{Eq. 05})$$

Onde L_{eqa} , L_{eqcl} e L_{eqcp} são os níveis de pressão sonora referentes a automóveis, caminhões leves e caminhões pesados, respectivamente, os quais são calculados individualmente pela equação 06:

$$L_{eq_i} = L_{ol} + 10 \log\left(\frac{N_i}{T \cdot V_i}\right) + 10 \log\left(\frac{15}{d}\right)^{1+\alpha} + A_{comb} - 13 \quad (\text{Eq. 06})$$

Onde L_{ol} é o nível sonoro de referência para o i -ésimo tipo de veículo, N_i é o número do i -ésimo tipo de veículo, V_i é a velocidade média do i -ésimo tipo de veículo, T é o tempo de duração para cálculo do nível equivalente horário ($T = 1$ h), d é a distância da rodovia (eixo da pista) até o receptor (m); α é o fator de absorção, que depende das características de absorção da cobertura do solo entre a rodovia e o receptor, e A_{comb} é a combinação de todas as atenuações ocorridas entre a fonte e o receptor.

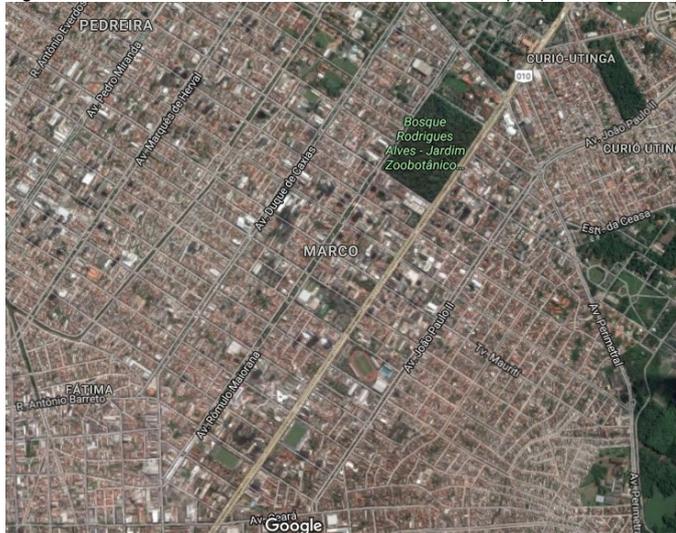
Metodologia

A fim de verificar a influência da forma urbana em ambiente sonoro, foram utilizadas duas travessas (dois trechos em cada) do bairro do Marco, às proximidades da Av. Almirante Barroso (principal fonte de ruído considerada neste trabalho), à cidade de Belém-PA, como campo experimental (Figura 1).

Inicialmente foi feito o levantamento físico da massa urbana correspondente aos lotes contíguos de cada trecho

de estudo. Na CODEM (Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém) foram obtidos um mapa do bairro e fichas cadastrais com as informações e cotas (dimensões) da área edificada interna a cada lote.

Figura 1 – Área do bairro do Marco, em Belém-PA, avaliada na pesquisa



Fonte: Google Earth (2017)

Foram, então, traçadas as linhas de coroamento dos perfis da massa edificada dos lotes de ambos os lados de cada trecho das travessas em estudo, identificando as relações entre cheios e vazios urbanos.

Além dos dados referentes às dimensões das edificações, foram coletadas informações referentes ao uso do solo, à pavimentação urbana, a presença de árvores e aos materiais constituintes das superfícies das fachadas, a fim de melhor caracterizar as envolventes urbanas do ambiente sonoro estudado. O mapeamento dos dados permitiu coletar informações sobre a massa edificada em plano horizontal e vertical, a área de cada material, tipo de pavimentação, gabaritos, a quantidade de árvores e diferentes usos do solo (por lote) de cada trecho.

Após a devida caracterização da área urbana de estudo, iniciaram as etapas de cálculos, medições acústicas e coleta de dados complementares. O mapeamento das áreas (cheios e vazios) e as linhas de coroamento permitiram, com o auxílio da planilha eletrônica, calcular índices característicos da massa urbana (índices de rugosidade, centralização e porosidade), a fim de melhor compreender a propagação do ruído na área de estudo, ou melhor, como ocorre a filtragem desse ruído pela malha urbana. Para tanto, exportaram-se os dados numéricos, para serem tratados por meio de cálculos estatísticos e representados posteriormente por gráficos.

Com base nos mapas esquemáticos, foram escolhidos os pontos utilizados para medição in loco de níveis de ruído equivalente (em dB(A) e resposta *rápida*), além de dados

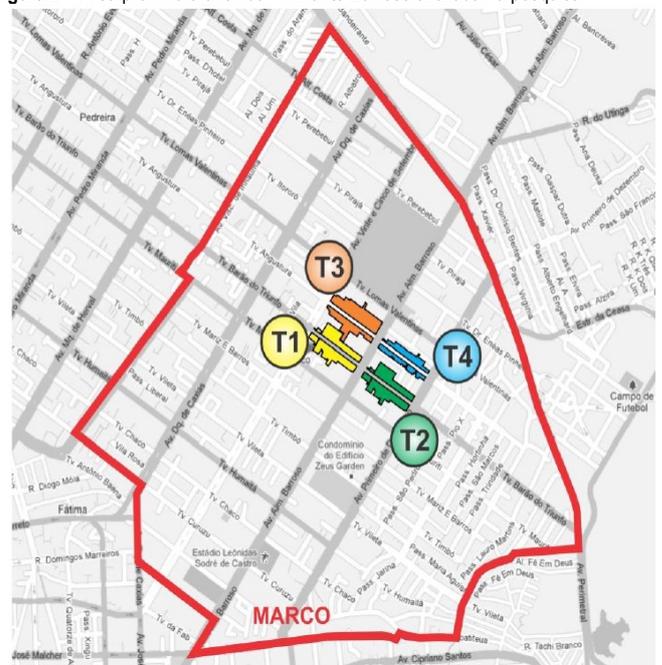
complementares de tráfego (fluxo de veículos, velocidade média e porcentagem de veículos leves e pesados) na avenida principal, e dados climáticos em cada trecho.

Todos esses dados (acústicos e complementares) foram organizados em tabelas e processados para a obtenção dos valores médios e confecção de gráficos comparativos. Os valores de nível de pressão sonora medidos em campo foram comparados aos calculados por meio de modelos de predição de ruído de tráfego conhecidos na literatura a partir de gráficos “Nível Sonoro x Distância da Fonte”.

Para cada ponto também foi elaborado o perfil das travessas (com relações de altura e largura), a partir dos dados obtidos nas etapas anteriores, com as larguras digitalizadas confirmadas pela utilização de uma trena a laser. Finalmente foi feita a análise de cada área urbana a partir da “leitura” dos gráficos relativos à forma urbana e os acústicos, obtidos em medição in loco e/ou calculados.

Foram escolhidos, para a monitoração, quatro ambientes sonoros no bairro do Marco como mostrado na Figura 2. O primeiro trecho (T1) compreende a Tv. Barão do Triunfo entre Av. Rômulo Maiorana e a Av. Almirante Barroso; o segundo (T2), corresponde à mesma travessa entre a Av. Almirante Barroso e a Av. João Paulo II. O terceiro (T3) e quarto (T4) trechos correspondem a segmentos da Tv. Angustura entre as mesmas avenidas mencionadas.

Figura 2 – Área próxima à avenida Almirante Barroso avaliada na pesquisa



Fonte: Adaptado de Google Maps

A escolha foi feita pelo fato desses trechos apresentarem configurações espaciais diversificadas (recuos e gabaritos diferentes) que pudessem ser representativas e

percentuais diferentes de áreas verdes (permeabilidade), além de terem em comum um tráfego de veículos pouco intenso, permitindo a análise do ruído proveniente do tráfego de veículos da Av. Almirante Barroso sem muita interferência do tráfego local. Sendo também o bairro do Marco considerado tranquilo, os trechos escolhidos integram uma área que não representa ameaça à segurança dos indivíduos envolvidos na pesquisa de campo.

Caracterização do entorno de cada trecho

No trecho 1 observou-se o predomínio de edificações de 1 pavimento (56%) e de uso residencial (72%) e presença de edifícios mais elevados (de 4 ou mais pavimentos) em apenas um dos lados da travessa.

Cerca de 41,2% da área é coberta por solo macio, 31,6% por solo duro, as demais áreas são preenchidas por edificações. Há a presença de árvores nas calçadas e de muros frontais a alguns edifícios.

As fachadas são predominantemente revestidas com materiais reflexivos (paredes de alvenarias, rebocadas e revestidas com pintura, cerâmicas ou pedra; vidro e metais), mas se observam ainda algumas superfícies de madeira ou coberta por plantas. Os telhados inclinados visualizados (em vista frontal) das edificações são na maior parte constituídos por telhas cerâmicas.

No trecho 2 observou-se o predomínio de edificações de 2 pavimentos (36%), mas em quantidade equilibrada às edificações de 1, 3 e 4 ou mais pavimentos. O uso predominante é de serviço (42%), seguido por 26% de uso misto, uma grande parte ainda está em obras, e ainda são percebidas algumas residências.

Cerca de 34,1% da área é coberta por solo macio, 18,4% por solo duro, as demais áreas são preenchidas por edificações. Há a presença de árvores nas calçadas e de muros frontais a alguns edifícios.

As fachadas são predominantemente revestidas com materiais reflexivos (paredes de alvenarias, rebocadas e revestidas com pintura, cerâmicas ou pedra; vidro e metais), mas se observam ainda algumas superfícies de madeira ou coberta por plantas. Os telhados inclinados visualizados (em vista frontal) das edificações são todos constituídos por telhas cerâmicas.

No trecho 3 observou-se o predomínio indiscutível de edificações de 1 pavimento (63%) e de uso residencial (63%), seguido pelas edificações de 2 pavimentos (36%) e usos do solo para prestação de serviços (22%). Há presença de edifícios mais elevados, concentrados no meio do quarteirão e edificações de 3 pavimentos. Uma boa quantidade da área edificada é ocupada por estruturas apenas de cobertura, ou seja, sem elementos de vedação vertical.

Cerca de 32,4% da área é coberta por solo macio, 20% por solo duro, as demais áreas são preenchidas por edificações. Há a presença de árvores nas calçadas e de muros frontais a alguns edifícios.

As fachadas são predominantemente revestidas com materiais reflexivos (paredes de alvenarias, rebocadas e revestidas com pintura, cerâmicas ou pedra; vidro e metais), mas se observam ainda algumas superfícies de madeira. Os telhados inclinados visualizados (em vista frontal) das edificações são na maior parte constituídos por telhas cerâmicas.

No trecho 4 observou-se o predomínio de edificações de 1 pavimento (52%) e de uso residencial (74%), seguidos por prédios de 2 pavimentos (35%). Há presença de edifícios mais elevados (de 4 ou mais pavimentos) e de muitas áreas apenas cobertas, ou seja, sem superfícies de vedação vertical.

A travessa apresenta via asfaltada para tráfego de veículos, totalizando 20 a 21 m de largura, e passeios laterais adjacentes às edificações pavimentado por materiais duros e impermeáveis ora apenas cimentados ora revestidos por pedras, ladrilhos ou lajotas cerâmicas.

Cerca de 24,6% da área é coberta por solo macio, 37,5% por solo duro, as demais áreas são preenchidas por edificações. Há a presença de árvores nas calçadas (mais concentradas em um dos lados da travessa) e de muros frontais a alguns edifícios.

As fachadas são predominantemente revestidas com materiais reflexivos (paredes de alvenarias, rebocadas e revestidas com pintura, cerâmicas ou pedra; vidro e metais), mas se observam ainda algumas superfícies de madeira. Os telhados inclinados visualizados (em vista frontal) das edificações são na maior parte constituídos por telhas cerâmicas.

Procedimento de medição

A coleta de dados acústicos (níveis de pressão sonora equivalentes) foi realizada nos pontos determinados nas esquinas das travessas com a Av. Almirante Barroso (Figura 3) e ao longo das duas travessas, e ocorreu em 4 dias: 18, 24, 25 e 26 de julho de 2012, durante 3 períodos da manhã: de 8:00 às 9:00; de 9:30 às 10:30; e de 11:00 às 12:00.

Foi utilizado um medidor de nível de pressão sonora Mediator, da marca Brüel & Kjær com protetor de vento, para amenizar a interferência do ruído do vento no microfone, disposto a aproximadamente 1,5 m acima do solo em um tripé, com o cuidado de mantê-lo a uma distância de, no mínimo, 1,5 m de qualquer superfície refletora, de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 10151 (ABNT, 2000).

Figura 3 – Avenida Almirante Barroso



Fonte: Os Autores

A leitura foi feita durante 1 hora (15 minutos para cada ponto) em cada período, em 4 pontos, na escala de ponderação A e resposta *rápida*, após o instrumento ter sido devidamente calibrado por um calibrador também da marca Brüel & Kjær como apresentado na Figura 4. Os níveis de pressão sonora equivalentes eram anotados em uma ficha no término de cada.

Figura 4 – Equipamento utilizado na medição de NPS



Fonte: Os Autores

Intercalando aos períodos das medições acústicas, foram medidas as outras variáveis ambientais (temperatura, umidade relativa e velocidade dos ventos) com o auxílio de um termo-higro-anemômetro-barômetro THAB-500 profissional da Instrutherm (número de série: Q594717) disposto em um tripé, com as pás a aproximadamente 1,3 m acima do solo como pode ser visto na Figura 5.

Os dados da direção do vento, considerados nesta pesquisa como referência, foram coletados em Belém, como dispostos no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). As medições da velocidade do vento,

devido às constantes variações (flutuações), foram feitas de 15 em 15 segundos durante 3 minutos nos mesmos pontos e períodos das medições de nível sonoro, exceto nos primeiros pontos de cada travessa, onde as medições de velocidade do vento foram realizadas logo após os períodos de medição acústica.

Figura 5 – Equipamento utilizado na medição de (temperatura, umidade relativa e velocidade dos ventos)



Fonte: Os Autores

Simultaneamente às medições de nível sonoro nos pontos das esquinas das Travessas Barão do Triunfo e Angustura com a Avenida Almirante Barroso, foram realizadas as contagens diretas da quantidade de veículos e tipos (veículos leves, como automóveis comuns e motos; e veículos pesados, como caminhões, micro-ônibus e ônibus) que circulavam na Av. Almirante Barroso e que passavam pelo observador durante 15 minutos.

Métodos de cálculo

Para a estimativa do nível de ruído produzido pelo tráfego de veículos nos pontos escolhidos neste estudo, posteriormente comparado aos resultados das medições experimentais, foram utilizados os modelos desenvolvidos por Çelenk et al. (1997), FHWA (1995), e Josse (1975).

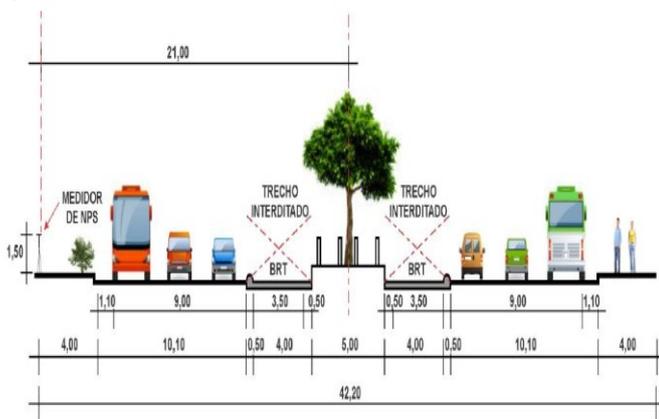
Observou-se que a via estava em bom estado de conservação, sendo plana nos trechos relevantes ao estudo e possuindo revestimento asfáltico; os pisos de seu entorno eram revestidos por materiais rígidos e não existiam grandes obstáculos entre a fonte sonora (Figura 6) e o receptor (medidor de nível de pressão sonora).

Durante 4 em 15 minutos (em média) foi observada uma pausa no fluxo de veículos com velocidade em torno de 60 km/h em um dos lados da avenida Almirante Barroso, às proximidades do trecho 4 (período de trânsito

congestionado). Por isso, na aplicação dos modelos de predição, adotou-se tráfego contínuo, com velocidade média dos veículos em trânsito de 52 km/h, resultante da média da velocidade nos dois lados da via durante 15 minutos (60 km/h durante 15 min de um lado e 60 km/h por 11 min e 0 km/h por 4 min do outro lado).

A largura da via também considerada para todos os trechos é de 34,2 m, ficando o medidor de nível de pressão sonora a uma distância aproximada de 21 m do centro do eixo central da avenida. O fluxo de veículos, calculado a partir da contagem de veículos em 15 min, foi extrapolado para 1 h e foi verificado para cada dia de medição.

Figura 6 – Perfil da Avenida Almirante Barroso



Fonte: Os Autores

O valor do fator de absorção foi considerado “0” (zero) para o ponto P1 de todos os trechos e “0,5” para os demais trechos, devido à presença de solo macio, recoberto com vegetação (na Tv. Barão do Triunfo) ou árvores esparsas entre a fonte e o receptor.

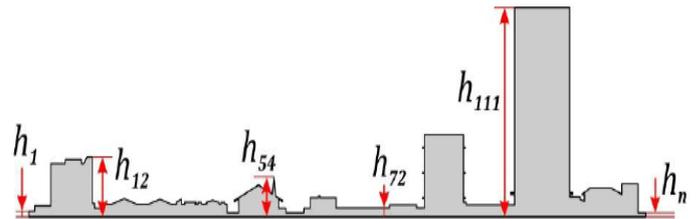
Cálculo dos índices urbanísticos

O Índice de Rugosidade, intimamente ligado à variação das alturas da massa edificada do perfil urbano, foi obtido a partir do cálculo do desvio médio quadrático (ou desvio padrão) das alturas de cada trecho, conforme sugerem as normas ISO 4287 (ISO, 1997) e ISO 4288 (ISO, 1996) para a avaliação da rugosidade superficial em peças, tal como representado pela equação 07:

$$i_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h)^2}{n-1}} \quad (\text{Eq.07})$$

Onde: i_r é o índice de rugosidade, h_i é o i -ésimo valor das alturas, h é a média aritmética das alturas (Figura 7) e n é o número total de pontos.

Figura 7 – Ilustração de variações de altura em um perfil



Fonte: Os Autores

O Índice de Porosidade foi considerado neste trabalho como a relação entre cheios e vazios, ou seja, a área ocupada pelo espaço vazio (ou área não edificada) em determinado trecho, dividida pela área correspondente ao espaço total. Logo tem-se a equação 08:

$$i_p = \frac{A_v}{A_t} \quad (\text{Eq.08})$$

Onde i_p é o índice de porosidade, A_t é a área total e A_v é a área não edificada, ou do espaço vazio (Figura 8), considerando os limites de cada trecho (linhas limítrofes dos lotes).

Figura 8 – Ilustração de áreas edificadas e não edificadas: massa edificada (esquerda) e massa não edificada (direita)



Fonte: Os Autores

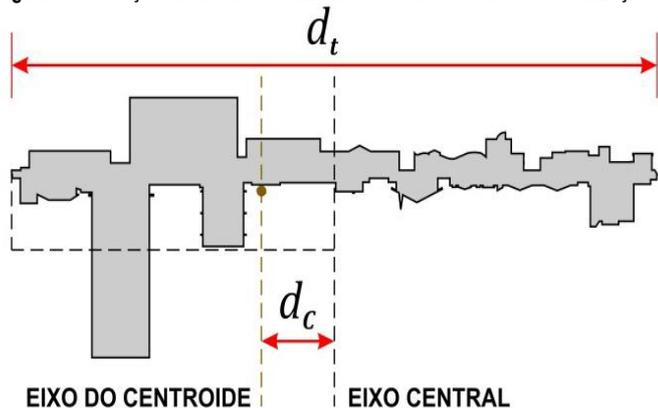
O Índice de Descentralização foi calculado a partir da relação entre a distância do eixo central do trecho de cada travessa e o centro geométrico de uma figura formada pelas linhas de coroamento dos perfis de ambos os lados das vias (Figura 9), conforme a equação 09:

$$i_c = \frac{dc}{dt/2} = 2 \left(\frac{dc}{dt} \right) \quad (\text{Eq. 09})$$

Onde i_c é o índice de centralização, dc é a distância horizontal do eixo do centroide ao eixo central do trecho (m), e dt é a distância horizontal total do trecho (m).

Assim, quanto mais próximo do eixo central estiver o eixo do centroide, mais próximo o índice de descentralização estará do valor 0 (equivalente a 100% de centralização), e quanto mais afastado do eixo central estiver o eixo do centroide, mais próximo o índice de descentralização estará do valor 1 (equivalente a 0% de centralização).

Figura 9 – Ilustração das distâncias utilizadas no cálculo do índice de centralização.

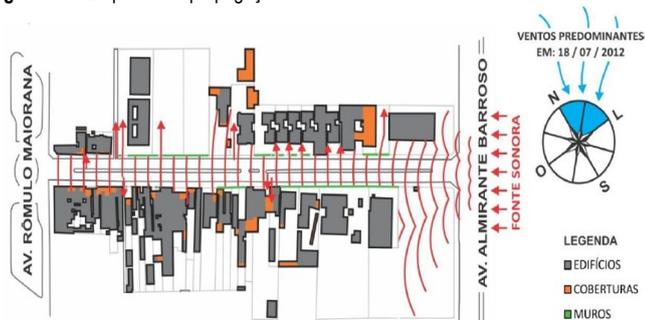


Fonte: Os Autores

Resultados e discussões

A Figura 10 mostra um exemplo de trecho com o cenário acústico de estudo, indicando prováveis caminhos das ondas sonoras (até uma altura de aproximadamente 2,5 m) oriundas do tráfego de veículos da Avenida Almirante Barroso. Apresenta também as barreiras (edificações e muros), as passagens (circulações, recuos e espaçamentos) e a orientação dos ventos predominantes. As áreas hachuradas em cor laranja são áreas cobertas sem paredes limitadoras ou pátios frontais às edificações (estes apenas delimitados por grades na parte frontal).

Figura 10 – Esquema de propagação do som no trecho 1



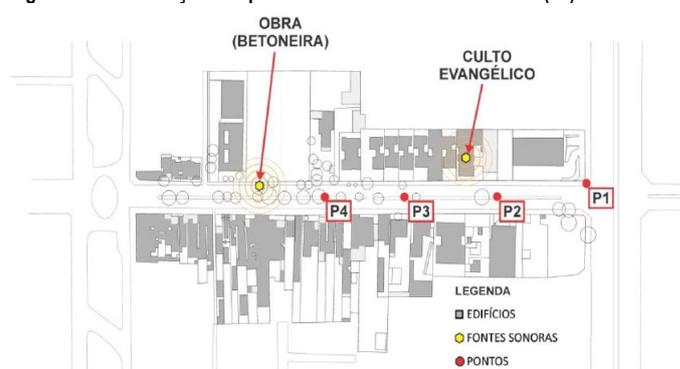
Fonte: Os Autores

Nos quatro trechos estudados, à exceção de T4, verifica-se a presença de muitos muros delimitando as fronteiras dos lotes com as travessas. Apenas no trecho 2 não existem quase pátios frontais e coberturas (onde também predominam as edificações de serviço e de dois pavimentos). Nos trechos 2 e 4, a propagação do ruído de tráfego se deu a barlavento, e no trecho 3, a sotavento.

A Figura 11 mostra um exemplo de trecho com os pontos de medição do estudo e outras fontes interferentes que surgiram. Apenas no trecho 2 não foi percebido outra fonte de ruído. No trecho 1, as outras fontes estavam um pouco afastadas dos pontos de medição; nos trechos 3 e 4, estavam próximas a alguns pontos.

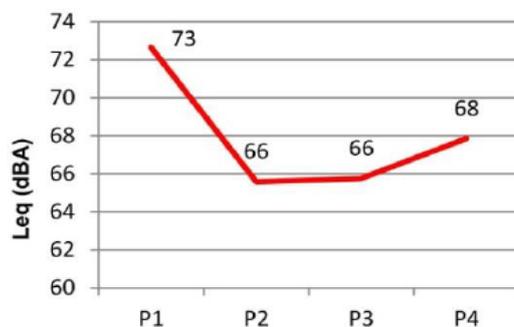
Os valores médios dos níveis de pressão sonora equivalente medidos (Leq) para cada ponto estão dispostos nos Gráficos 1, 2, 3 e 4.

Figura 11 – Localização dos pontos e outras fontes no trecho 1 (T1)



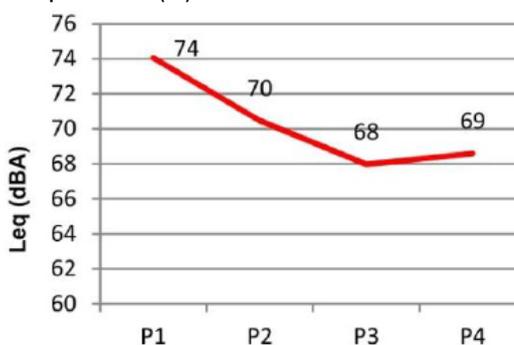
Fonte: Os Autores

Gráfico 1 – Leq do trecho 1 (T1)



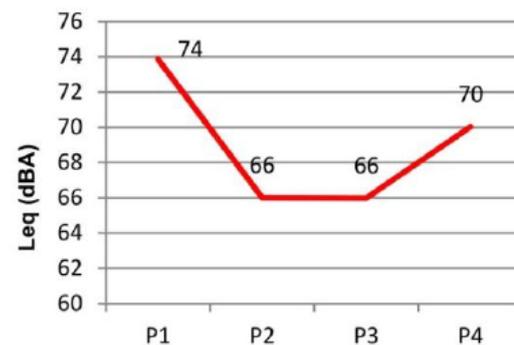
Fonte: Os Autores

Gráfico 2 – Leq do trecho 2 (T2)



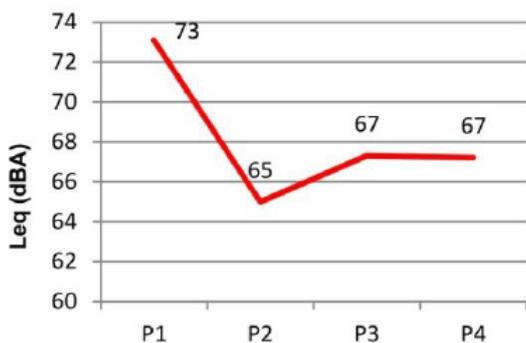
Fonte: Os Autores

Gráfico 3 – Leq do trecho 3 (T3)



Fonte: Os Autores

Gráfico 4 – Leq do trecho 4 (T4)



Fonte: Os Autores

O nível de pressão sonora médio dos 3 pontos internos (P2, P3 e P4) não se apresentou tão diferente de um trecho ao outro. O maior foi igual a 69 dB(A) em T2, enquanto que o menor foi igual a 67 dB(A) em T1 e T4. Em T3, o valor médio foi de 68 dB(A). A variação mais perceptível ocorreu com o aumento da distância, de um ponto para outro.

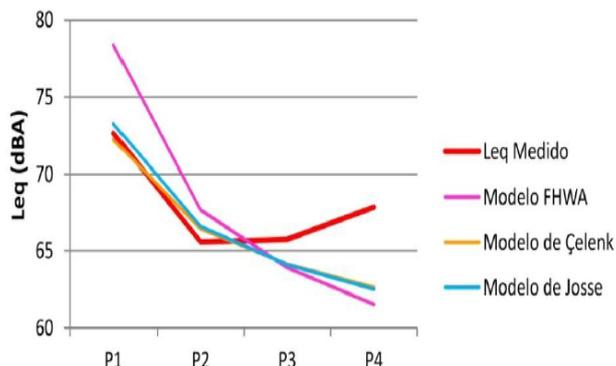
De modo geral, houve um aumento do nível sonoro nos pontos mais centrais aos quarteirões. Convém observar que até no trecho 2 (T2), com propagação de tráfego a barlavento e onde não houveram interferências de outras fontes de ruído, houve um aumento no nível sonoro no ponto 4.

Comparando os valores de nível de pressão sonora equivalentes medidos aos valores calculados por meio dos modelos preditores anteriormente descritos, observaram-se concordâncias para os decaimentos iniciais e diferenças significativas (mudança de tendência nas curvas de Leq medido) para as regiões de P3 e P4 (ver gráficos 5, 6, 7 e 8). Estas mudanças de tendências nas curvas medidas (apresentadas em vermelho), comparadas aos modelos preditivos, demonstra claramente que o ruído de tráfego proveniente da Av. Almirante Barroso perde força enquanto fonte principal de ruído, cedendo espaço às demais fontes sonoras existentes nos quatro trechos pesquisados. Pode-se afirmar que tal comportamento era esperado, uma vez que os modelos preditivos não contemplam outras fontes, além do ruído de tráfego.

Calculando os desvios dos valores calculados pelos modelos em relação à curva dos valores medidos, observou-se que, no trecho 1, o modelo de Çelenk foi o mais próximo, com desvio de 3,20 dB(A) e, nos demais trechos, destacou-se o modelo de Josse, com desvios de 4,70 dB(A) no trecho 2; 5,38 dB(A) no trecho 3; e 4,12 dB(A) no trecho 4.

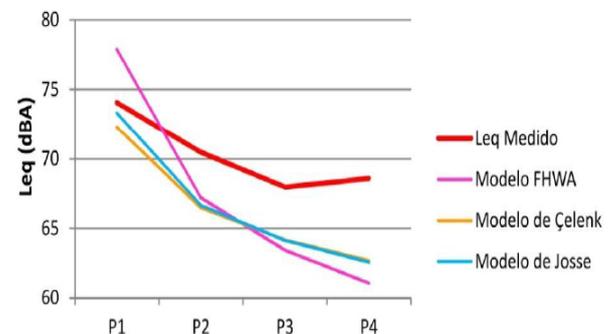
Os índices de rugosidade foram calculados a partir das informações das alturas de pontos dos perfis nos dois lados das vias.

Gráfico 5 – Leq e dados do trânsito do trecho 1



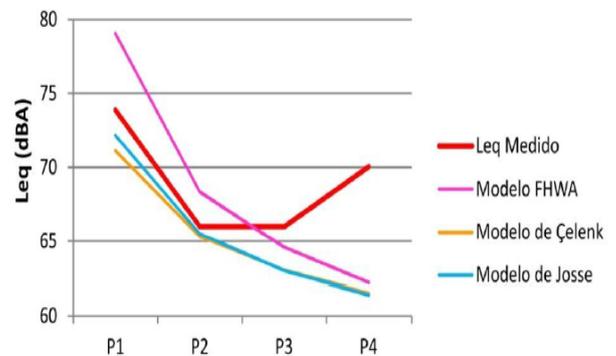
Fonte: Os Autores

Gráfico 6 – Leq e dados do trânsito do trecho 2



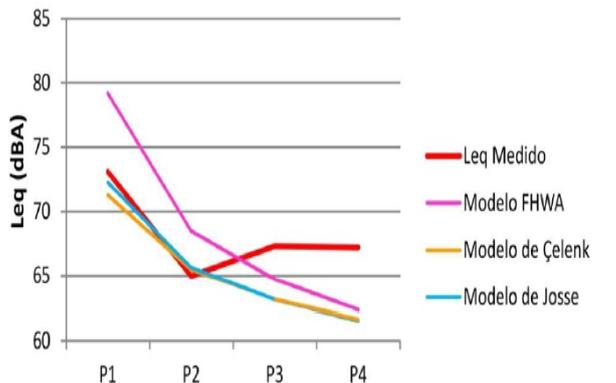
Fonte: Os Autores

Gráfico 7 – Leq e dados do trânsito do trecho 3



Fonte: Os Autores

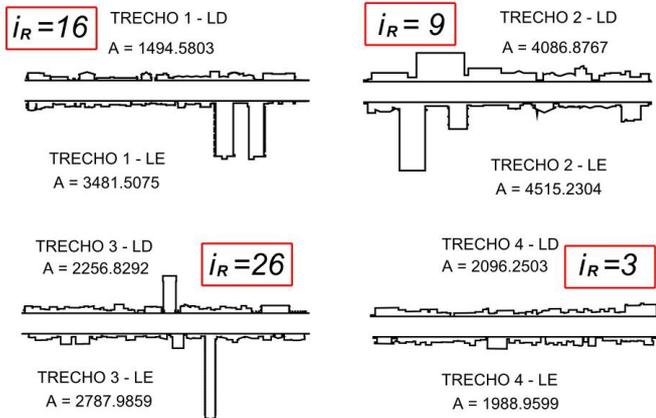
Gráfico 8 – Leq e dados do trânsito do trecho 4



Fonte: Os Autores

A Figura 12 apresenta esquematicamente os perfis de cada lado (direito, LD, e esquerdo, LE) dos 4 trechos de estudo, suas respectivas áreas, A (m²) e os índices de rugosidade (i_r) para cada trecho.

Figura 12 – Representação dos perfis e respectivos índices de rugosidade



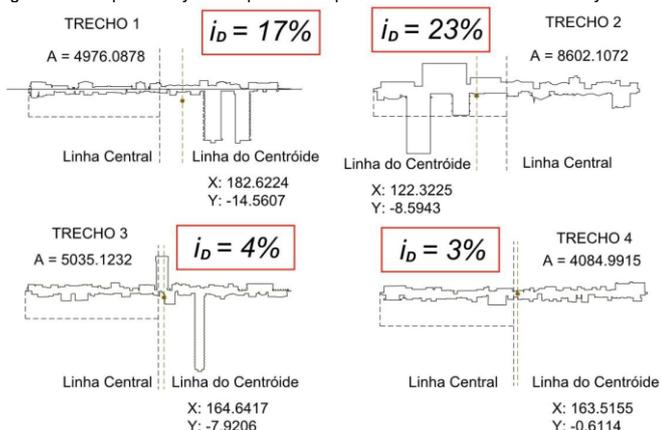
Fonte: Os Autores

O trecho de estudo onde foi observado o índice mais alto de rugosidade foi o trecho 3 ($i_r = 26$) e o de menor índice de rugosidade, o trecho 4 ($i_r = 3$).

Convém observar, também, que os índices de rugosidade não são percentuais e são mais altos quanto mais elevadas forem as diferenças de alturas, o que explica a baixa rugosidade do perfil do trecho 4 e do trecho 2.

Os índices de descentralização (i_d) foram calculados (Figura 13), onde é possível observar que o trecho com maior índice de descentralização, ou seja, o menos centralizado, é o trecho 2 e o trecho 4 é o menos descentralizado (mais centralizado), em comparação aos demais trechos.

Figura 13 – Representação dos perfis e respectivos índices de descentralização

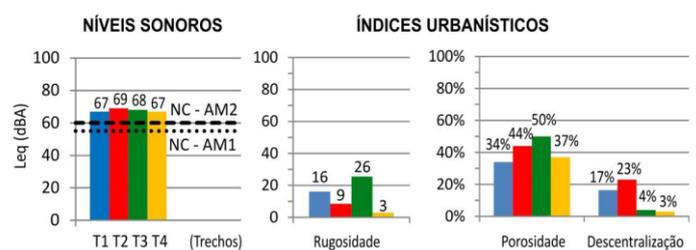


Fonte: Os Autores

A comparação entre os índices urbanísticos e os valores obtidos de níveis de pressão sonora é ilustrada no gráfico 9, onde NC-AM 1 é o nível de critério de avaliação para ambientes externos em área mista, predominantemente residencial no período diurno, conforme a NBR 10.151

(2000); NC-AM 2 é o nível de critério de avaliação para ambientes externos em área mista, com vocação comercial e administrativa no período diurno, conforme a NBR 10.151 (2000).

Gráfico 9 – Níveis sonoros e índices urbanísticos



Fonte: Os Autores

Os índices de rugosidade e porosidade nos trechos 1 e 4 são pouco elevados se comparados aos dos trechos 2 e 3, e o índice de descentralização é bem pequeno (gráfico 9). No trecho 3 percebe-se uma elevada rugosidade, alta porosidade e uma pequena descentralização. No trecho 4 verifica-se baixa rugosidade, porosidade um pouco elevada e também uma pequena descentralização. O índice de descentralização é maior no trecho 2, onde o nível sonoro também foi mais elevado.

A maior correlação observada com os níveis de pressão sonora equivalentes foi do índice de porosidade, de aproximadamente 69% (coeficiente de Pearson), seguido pelo índice de descentralização, de aproximadamente 52%. Assim, observa-se que a centralização da massa (oposta ao índice de descentralização), aliada a uma considerável rugosidade do perfil urbano, pode ser também responsável pelos valores mais elevados de nível sonoro nos pontos mais centrais de cada trecho (P4), e que a porosidade dos trechos parece estar contribuindo pouco para a dispersão do ruído.

Outro fato interessante observado é que o índice de rugosidade tem forte correlação com a relação H/L. Utilizando, por exemplo, os valores médios das alturas de cada ponto dos perfis urbanos (H) e as larguras médias das travessas nos três pontos de medição para cada trecho (L), podem-se extrair os seguintes valores da relação H/L: 0,33 para T1; 0,29 para T2; 0,88 para T3 e 0,21 para T4; apresentando uma correlação de aproximadamente 92% (coeficiente de Pearson). Com esses valores pode-se considerar, de acordo com Romero (2011), que os trechos 1, 2 e 3 caracterizam espaços de recolhimento ou áreas de densidade média, enquanto que o trecho 4 compõe um espaço expansivo ou de baixa densidade. Devido à forte correlação, os índices de rugosidade calculados para os trechos também podem ser utilizados na determinação dos espaços de baixa, alta ou média densidade construtiva.

Conclusões

Este trabalho procurou avaliar a relação entre a forma urbana na escala da rua e o nível de pressão sonora utilizando uma metodologia baseada em estudos da forma urbana e relações métricas espaciais. Para tanto, procurou estabelecer alguns índices urbanísticos e suas inter-relações com o ruído ambiental nos espaços externos às edificações, após a caracterização detalhada de cada ambiente.

A importância desse tipo de estudo é a produção de conhecimento nesta área ainda pouco explorada que possa vir a complementar os estudos já existentes, possibilitando influenciar, a partir de relações e tratamentos da forma urbana, na tomada de decisões de futuros projetos arquitetônicos e urbanos preocupados com as questões ambientais.

Desconstruindo a hipótese motivadora desta pesquisa, de que uma análise sistemática da forma urbana poderia eliminar a necessidade do uso de mapas acústicos e das medições *in loco*, percebeu-se que os softwares de mapeamento sonoro podem e devem ser utilizados em conjunto aos índices urbanísticos, para que um possa alimentar o outro, colaborando para o aperfeiçoamento de ambos os recursos; e as medições acústicas *in loco* não podem ser substituídas por índices urbanísticos, em resposta aos questionamentos feitos na introdução desta pesquisa, uma vez que possibilitam avaliar e aperfeiçoar os próprios métodos e modelos de análise.

O problema do ruído em meio urbano não é algo de fácil solução, uma vez que necessita de mudanças radicais do modo de pensar – um novo paradigma – que interfira em valores sociais, econômicos, políticos e culturais da sociedade atual.

Tem sido comumente observadas iniciativas privadas de controle de ruído (isolação acústica), cujo principal interesse é de resolver problemas particulares do proprietário de um imóvel e/ou de seus clientes (no caso de existirem). A sociedade como um todo não é geralmente beneficiada e, muitas vezes, pode até estar sendo prejudicada por essas iniciativas. Soluções de apenas isolar ambientes internos ou edificações, que ignoram os espaços externos, acabam por agravar ainda mais o problema dos ruídos nas cidades.

Pesquisadores de diversas áreas estão se mobilizando em busca de soluções, desde que a poluição sonora passou a ser considerada um caso de saúde pública pela Organização Mundial de Saúde, mas seus esforços, somados aos dos agentes fiscalizadores, ainda não surtiram significativo efeito e talvez só obtenham sucesso quando houver também a cooperação da população. Ou seja, todas as ações devem partir de um grande programa de educação ambiental e campanhas de conscientização dos problemas decorrentes do ruído frente à população.

A partir do cumprimento das leis pode-se tornar mais fácil a aceitação de novas medidas como: a proibição em algumas áreas de buzinas; carros de propaganda com alto-falantes externos, ou, em certas horas do dia, a redução do número de veículos, em consonância com a melhoria do transporte público; o tratamento acústico antirruído dos pavimentos das vias; aperfeiçoamento dos projetos automotivos, com redução dos ruídos dos motores e escapamentos veiculares; e melhorias em equipamentos e aparelhos diversos, tornando-os menos ruidosos.

Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6405**: Rugosidade das Superfícies. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151**: Avaliação do nível do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

BARRIO, I. L. Medio ambiente y salud. Impacto del ruido. **Papeles del Psicólogo: Revista del Colegio Oficial de Psicólogos**, n. 67, p. 55-61, 1997.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. Edgard Blücher, 2011.

BRIOSCHI, R.; VIVEIROS, E. A Influência dos afastamentos frontais das edificações na formação dos ambientes sonoros no nível do pedestre. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2011, Búzios. **Anais ...** Búzios: ANTAC, 2011.

BRITO, E.; NOGUEIRA, M. C.; PINTO, M.; CALLEJAS, I. J.; FRANCO, F.; DURANTE, L. Ruído ambiental em região de ocupação mista com enfoque no desconforto em edifício residencial: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2011, Búzios. **Anais ...** Búzios: ANTAC, 2011.

BUENO, M. **O grande livro da casa saudável**. São Paulo: Roca, 1995. 279p.

CALIXTO, A. O. **Ruído gerado pelo tráfego de veículos em “Rodovias–Grandes Avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental**. 2002. 122 pag. 2002. Dissertação de mestrado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CALLAI, Sérgio Copetti. **Estudo do ruído causado pelo tráfego de veículos em rodovias com diferentes tipos de revestimentos de pavimentos**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. doi:<http://dx.doi.org/10.11606/D.3.2011.tde-19072011-171244>.

CARVALHO, T.; MORAES, E.; SIMON, F. Percepção subjetiva do ruído de tráfego em espaço hospitalar. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2011, Búzios. **Anais ...** Búzios: ANTAC, 2011.

ÇELENK, E. et al. Ankara city traffic impact assessment study. **ESRI International User Conference**, California, 1997.

FHWA. **Highway Traffic Noise Analysis and Abatement Policy and Guidance**. Washington: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 1995.

FITCH, J. M., **American Building: The Environmental Forces that Shape it** . New York: Schocken Books, 1976.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 2.ed., Florianópolis: Editora NR, 2000.

GUEDES, I. C. M. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE)**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2005. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000375678>

JOSSE, R., **La Acústica en la Construcción**. Barcelona: Ed. Gustavo Gili, 1975.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4287:1997**. Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters. Genebra: International Organization for Standardization, 1997.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4288:1996**. Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Rules, and procedures for the assessment of surface texture. Genebra: International Organization for Standardization, 1996.

LAMAS, J. M. R. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1974.

LIMA, S.; MORAES, E. Ruído urbano no centro histórico e patrimonial de Belém-PA. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2011, Búzios. **Anais ...** Búzios: ANTAC, 2011.

LONG, Marshall. **Architectural acoustics**. Elsevier, 2005.

MARQUES, C. **Acústica Urbana de Umuarama: avaliação e metodologia para procedimentos de reurbanização**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Maringá, 2010. Disponível em: <http://nou-rau.uem.br/nou-rau/document/?code=vtls000211197>

MORAES, E. M. L.; COUTINHO, M.; SIMÓN, F. O impacto do ruído com a implantação de um Shopping Center. In: CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO, SUSTENTÁVEL (PLURIS), 4., 2010, Faro. **Anais** Universidade do Algarve:PLURIS, Faro, 2010.

MORAES, E. M. L.; SIMÓN, F. Actualización del mapa acústico de Belém a través del Método de Cálculo Matemático Predictivo. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 6., 2008, Buenos Aires. **Anais ...** Buenos Aires: FIA, 2008.

NASCIMENTO, C. C. **Clima e Morfologia Urbana em Belém**. Belém: UFPA / NUMA, 1995.

OLIVEIRA, P. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Brasília: UNB, 1987.

PEREIRA, L. V. **Definição da forma urbana no planejamento físico**. L.N.E.C, Memória n. 570, Lisboa, 1982.

RAMON, F. **Ropa, sudor y arquitectura**. Blume Ediciones, 1980.

SAPATA, A. M. **Monitoramento, modelagem e simulação dos impactos e efeitos do ruído de tráfego em trecho de cânion urbano da avenida Horácio Racanello da cidade de Maringá-PR**, 2010, 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010. Disponível em: <http://www.peu.uem.br/Dissertacoes/Ana.pdf>

VILLAS BOAS, M.; OLIVEIRA, P. M. Dimensão ambiental do processo de urbanização. *In*: Relatório da pesquisa “**Dimensões morfológicas do processo de urbanização**”, convenio FUB/FINEP. Brasília, 1985.

WIERINGA, J.; DAVENPORT, A. G.; GRIMMOND, C. S. B. New Revision of Davenport Roughness Classification. *In*: EUROPEAN-AFRICAN CONFERENCE ON WIND ENGINEERING, 3., 2001, Eindhoven. **Proceedings...** Eindhoven: EACWE, 2001.

¹ Vânia Raposo de Moura

Arquiteta e Urbanista. Mestrado pela Universidade Federal do Pará. Endereço postal: Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Avenida Augusto Corrêa, 01, Belém, PA, Brasil, 66075-110

² Gustavo da Silva Vieira de Melo

Bacharel em Física. Doutor pela Universidade Federal do Pará. Professor da Universidade Federal do Pará. Endereço postal: Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Avenida Augusto Corrêa, 01, Belém, PA, Brasil, 66075-110

³ Wagner de Sousa Santos

Engenheiro Civil. Mestrado pela Universidade Federal do Pará. Endereço postal: Campus Reitor João David Ferreira Lima, Laboratório de Vibrações e Acústica, s/n, Florianópolis, SC, Brasil, 88040-900