

## **RUÍDO DE TRÁFEGO VEICULAR EM ÁREAS URBANAS: MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DE LITERATURA**

**Italo César Montalvão Guedes (1); Stelamaris Rolla Bertoli (2)**

- (1) Eng. Civil – Arquiteto e Urbanista, MSc, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo (Campuslar/UFS), Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC/Unicamp), italomontalvao@yahoo.com.br  
(2) Física, Phd, Professora do Departamento de Arquitetura e Construção, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC/Unicamp), rolla@fec.unicamp.br. End.: Av. Albert Eisnten, 951, Barão Geraldo, 13083970 - Campinas, SP - Brasil - Caixa-postal: 6021, Telefone: (19) 35212382

### **RESUMO**

Este artigo apresenta o processo e os resultados da etapa inicial da revisão sistemática de literatura referente ao ruído de tráfego veicular em áreas urbanas. Nesta etapa, desenvolveu-se o mapeamento sistemático de literatura - *Systematic Mapping Study (SMS)*, ferramenta caracterizada pelo paradigma baseado em evidências (*Evidence - based paradigm*). Por meio desta técnica foi possível identificar as principais publicações internacionais na última década, os principais subtemas (ou campos de estudos) e centros de pesquisa na área. Com base nos resultados, pôde-se evidenciar uma tendência de crescimento de pesquisas sobre o tema investigado, principalmente sobre modelagem/simulação e mapeamento acústico. Os resultados apontam ainda uma possível lacuna de estudos sobre a influência de elementos ou equipamentos urbanos (cruzamentos, redutores de velocidade, rotatórias, pontos de ônibus) nos níveis de ruído do trânsito com base em modelagem e simulações. Espera-se que esse artigo possa contribuir com a comunidade científica na criação ou consolidação de conhecimentos já existentes.

Palavras-chave: Mapeamento sistemático da literatura. Ruído de tráfego rodoviário. Acústica urbana.

### **ABSTRACT**

This paper presents the process and results of the initial stage of a systematic review of literature relating to the vehicular traffic noise in urban areas. In this step, we developed the systematic mapping of literature - *Systematic Mapping Study (SMS)* tool characterized by evidence-based paradigm (*Evidence - based paradigm*). By this technique was possible to identify the main international publications in the last decade, the main sub-themes (or fields of study) and research centers in the area. Based on the results, it could be noted a growing trend of research on the subject investigated, mainly on modeling / simulation and acoustic mapping. The results also point to a possible lack of research on the influence of elements or urban equipments (crossings, speed bumps, roundabouts, bus stops) in traffic noise levels based on modeling and simulations. It is hoped that this paper will contribute to the scientific community in the creation or consolidation of existing knowledge.

Keywords: Systematic mapping study. Road traffic noise. Urban acoustic.

### **1. INTRODUÇÃO**

Em vista do grande crescimento populacional e contínuo processo de urbanização, o ruído tornou-se um dos principais agentes poluidores nas cidades. A popularização do uso de veículos automotores como principal forma de mobilidade urbana tem contribuído para a constatação científica de que o ruído do tráfego veicular representa a mais relevante fonte de poluição sonora nas cidades (SINGAL, 2005; GUEDES; BERTOLI; ZANNIN, 2011; ZANNIN; DE SANT'ANA, 2011; DINTRANS; PRÉNDEZ, 2013; LICITRA, 2013).

O mais preocupante é que o ruído, além de ocasionar desconforto, interferências em diversas atividades do cotidiano das pessoas (trabalho, lazer, sono, etc.), efeitos adversos à saúde, sejam eles de caráter físico e/ou psicológicos, pode ainda ser responsável por impactos socioeconômicos. Perda temporária ou permanente da audição, doenças cardiovasculares, alterações hormonais, estresse e irritação, são alguns

exemplos desses efeitos apontados por diferentes estudos (KANG, 2007; HAMMER; SWINBURN; NEITZEL, 2014).

Diante deste quadro, esforços têm sido realizados visando ao controle do ruído nas cidades com adoção de medidas focadas nas causas e efeitos do ruído e desenvolvimento de trabalhos para caracterização acústica de uma determinada região. Em geral, tais pesquisas têm feito avaliações do ruído urbano, aplicando a técnica do mapeamento acústico, que pode ser obtido por meio de coletas sistemáticas de diversos descritores acústicos e/ou modelagem matemática/computacional, além da aplicação de *softwares* comerciais para predição acústica (ASENSIO et al, 2009; ARANA et al, 2010; WANG; KANG, 2011; AVSAR; GUMUS, 2011; SOUZA; GIUNTA, 2011; GUEDES; BERTOLI; ZANNIN, 2011; ZANNIN; DE SANT'ANA, 2011; SUAREZ; BARROS, 2014; FIEDLER; ZANNIN, 2015).

Com a Diretiva Europeia 2002/49/CE, a elaboração de mapas estratégicos de ruído tornou-se obrigatória na Europa para as aglomerações urbanas com mais de 250 mil habitantes. Tal Diretiva tem como proposta central definir uma abordagem comum para evitar, prevenir ou reduzir os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiental nos Estados - Membros Europeus (PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2002). Em decorrência disso, acredita-se que houve um crescimento sistemático no interesse e desenvolvimento de pesquisas acadêmicas com ênfase ao mapeamento acústico e avaliação/gestão do ruído ambiental, especialmente no que se refere ao ruído do tráfego veicular. Este artigo busca, entre outras questões, confirmar tal afirmativa.

O ruído do tráfego veicular em áreas urbanas sofre influência dos aspectos físicos das vias (perfis de ruas, gradiente e largura das pistas, tipo de pavimento), do fluxo, composição e velocidades dos veículos em circulação, condições meteorológicas (vento, temperatura e umidade do ar), das instabilidades do trânsito (frenagens e acelerações) devido a diversos elementos e/ou equipamentos urbanos (rotatórias, lombadas, cruzamentos com ou sem semáforos, pontos de ônibus), além da própria postura dos motoristas (PICAUT; BÉRENGIER; ROUSSEAU, 2005; KANG, 2007; ABO-QUDAIS; ALHIARY, 2007; LI et al, 2011; GUEDES; BERTOLI; ZANNIN, 2011; CAI; LI; LIU, 2011; WANG; CAI; ZOU, 2012). E a depender da velocidade e do fluxo de veículos, o ruído pode ser decorrente do motor e escapamento (velocidades baixas) ou do contato entre pneu/estrada (pavimento) e características aerodinâmicas (velocidades médias e altas) (LICITRA, 2013).

Diversos campos ou subtemas de pesquisa têm se desenvolvido, investigando o ruído de tráfego veicular sobre diferentes perspectivas (fonte, trajetória ou receptor), como: (i) Controle do ruído em veículo (individual) ou interação pneu/pavimento (BRAVO; IBARRA; COBO, 2013; HUIJSSEN et al, 2013; LIAO et al, 2014; MAK; HUNG, 2014); (ii) Propagação sonora ao ar livre em ruas urbanas, buscando entender os fenômenos acústicos envolvidos (reflexão, espalhamento e difração) e influências das superfícies e obstáculos – forma urbana, vegetação, barreiras acústicas, etc. (ONAGA; RINDEL, 2007; CIANFRINI; CORCIONE; FONTANA, 2007; BAULAC; DEFRANCE; JEAN, 2008; LI; LAW; KWOK, 2008; LIU et al, 2010; SAMARA; TSITSONI, 2011; GUARNACCIA; QUARTIERI, 2012; VAN RENTERGHEM et al, 2012; OSHIMA; II, 2013) (iii) Efeitos adversos na saúde física e psicológica nas pessoas (MARKS; GRIEFAHN, 2007; NOTBOHM et al, 2013; PAUNOVIĆ; BELOJEVIĆ; JAKOVLJEVIĆ, 2013); (iv) Impactos socioeconômicos, por exemplo: desvalorização de imóveis (BLANCO; FLINDELL, 2011; NAISH; TAN; DEMIRBILEK, 2012) e (v) *Soundscape* (paisagem sonora), termo que descreve a relação entre o ambiente sonoro e o indivíduo, considerando todos os tipos de interações entre o espaço, o som e os seres humanos (PAPADIMITRIOU et al, 2009). Ou seja, focalizam na forma como as pessoas percebem o ambiente circundante, incluindo aspectos físicos, sociais, culturais, psicológicos e arquitetônicos (KANG, 2007).

No que se refere ainda às pesquisas de *Soundscape*, percebe-se que um dos enfoques é a investigação da influência do efeito mascaramento no ruído de tráfego rodoviário por sons mais agradáveis (fontes de águas, chafarizes, etc.) em espaços urbanos abertos, por exemplo: praças e parques (NILSSON et al, 2009; SZEREMETA; ZANNIN, 2009; COENSEL; VANWETSWINKEL; BOTTELDOOREN, 2011; RÅDSTEN-EKMAN; AXELSSON; NILSSON, 2013). Normalmente, tais estudos apresentam uma abordagem metodológica integrando avaliações objetivas (medições de descritores acústicos) e subjetivas (aplicação de questionários para análise de aspectos da percepção nas pessoas). Outro enfoque de pesquisa que tem sido aplicada é a realização de testes psicoacústicos em laboratórios ou *in loco*, através do uso da técnica da realidade virtual e auralização (FIEBIG; GUIDATI; GENUIT, 2009; NILSSON et al, 2011; THOMAS et al, 2012; RUOTOLO et al, 2013).

## 2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo central apresentar um panorama internacional de pesquisas realizadas nos

últimos dez anos com ênfase ao tema: Ruído de Tráfego Veicular em Áreas Urbanas, apontando as eventuais lacunas e/ou tendências de estudos em diferentes subtemas da área.

Desta forma, pretende-se contribuir com a comunidade científica através de informações que possam estimular pesquisas com vistas à consolidação ou criação de novos conhecimentos científicos na área. Para tanto, realizou-se um mapeamento sistemático de literatura - *Systematic Mapping Study (SMS)*, processo de busca por literatura em que se aplica o paradigma baseado em evidências (*Evidence - based paradigm*), levantando aspectos quantitativos, tipológicos e descritivos de publicações existentes sobre o tema de interesse. O *SMS* pode ser considerado como uma etapa que antecede a revisão sistemática de literatura (*Systematic Literature Review – SLR*), sendo fundamental em estágios iniciais de pesquisas (FERNANDEZ et al. 2009 *apud* RUIZ; GRANJA, 2013; BRERETON et al, 2007 *apud* RUIZ; GRANJA, 2013).

### 3. MÉTODO

Para a execução do mapeamento sistemático de literatura (*Systematic Mapping Study – SMS*) foram utilizados os seguintes procedimentos: (i) **o que buscar?** (identificar palavras-chave); (ii) **onde buscar?** (identificar bases de dados); (iii) **como buscar?** (entender a operação de cada base de dados); (iv) **como salvar?** (armazenar resultados para análise posterior) e (v) **como analisar?** (organizar e analisar resultados obtidos) (RUIZ; GRANJA, 2013). Tais etapas encontram-se detalhadas a seguir.

- (i) **O que buscar?** Esta etapa é uma das mais importantes diante da necessidade de definição de palavras-chave que mais se adequam (ou são mais aderentes) ao tema pesquisado. Neste trabalho, após realização de várias combinações entre palavras, foram adotadas as seguintes expressões: *Road traffic noise AND urban acoustic*. Foi definido um intervalo temporal de uma década para a realização das investigações, motivado pelo interesse em saber o desenvolvimento da área de conhecimento em questão durante esse período. Tal recorte temporal se deu também com vistas a verificar a repercussão das diretrizes e estratégias estabelecidas pela Diretiva 2002/49/CE (PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2002), relativas à avaliação e gestão do ruído ambiental, no âmbito das pesquisas sobre ruído de tráfego veicular.
- (ii) **Onde buscar?** Com base em uma análise exploratória das fontes/pesquisa de artigos selecionados em ocasiões anteriores, foram definidas as seguintes bases de dados: *Scopus (SC)*, *Science Direct (SD)* e *Web of Science (WS)*. Tais bases também foram selecionadas baseando-se no critério de qualidade.
- (iii) **Como buscar?** Após definição das bases de dados, reservou-se um tempo para experimentação de suas ferramentas de busca avançada, com uso de operadores *Booleanos* (AND, OR e NOT) e filtros disponíveis, por exemplo, período (entre 2005 e 2015), idioma (inglês), tipo de documento (artigos de periódicos e de conferências).
- (iv) **Como salvar?** O mecanismo para salvar os textos obtidos se deu através do *software JabRef 2.10*, que importa os arquivos *.bibTex* obtidos nas respectivas bases de dados. Em seguida, esses arquivos foram salvos nos formatos *.csv* ou *.xls*, podendo ser trabalhados em planilha eletrônica.
- (v) **Como analisar?** Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas (por base de dados), havendo um processo de classificação e triagem (exclusão dos textos não aderentes ao tema e duplicados, obedecendo a seguinte nomenclatura: Rótulo “N” – não aderente; “T” – com possibilidade de aderência e “S” – com aderência). Em seguida, realizou-se uma nova classificação dos textos aderentes, baseada em características específicas sobre o tema de interesse. Esta classificação e os resultados deste processo de mapeamento serão apresentados no item 4. Resultados e discussões.

Como um dos objetivos deste artigo foi identificar as eventuais lacunas e/ou tendências de estudos referentes ao ruído de tráfego veicular em áreas urbanas, optou-se por uma análise da aderência dos textos selecionados com base na seguinte classificação: (i) AV – Avaliação do ruído de tráfego veicular por meio de medições acústicas e/ou descritores acústicos; (ii) BA – Barreiras acústicas; (iii) CV – Controle de ruído em veículos; (iv) ES – Efeitos do ruído na saúde (fisiológicos e psicológicos) e atividades das pessoas; (v) GR – Gestão do ruído de tráfego veicular; (vi) IRTE – Impacto e controle do ruído de tráfego em edificações; (vii) ISE – Impactos socioeconômicos; (viii) MA – Mapeamento acústico; (ix) MS – Modelagem/simulações (matemática e/ou computacionais); (x) PP – Interação pneu/pavimento; (xi) PSI – Psicoacústica; (xii) PSL – Propagação sonora ao ar livre e (xiii) SO – *Soundscape*. Logo, os textos aderentes (“S”) foram àqueles relacionados diretamente com as classificações supracitadas e os textos do tipo (“T”) abordavam no título aspectos gerais sobre ruído urbano, sendo posteriormente avaliados por meio dos seus resumos para inclusão ou não no grupo de textos aderentes.

Ressalta-se que as pesquisas sobre barreira acústica (BA), mesmo podendo ser entendidas como parte do subtema – Propagação sonora ao ar livre (PSL) no aspecto de atenuação sonora, foram classificadas separadamente devido a sua importante ocorrência em comparação ao subtema PSL. A classificação - Mapeamento acústico (MA) envolveu todos os artigos sobre mapas acústicos obtidos por medições sistemáticas e/ou aplicação de *softwares* para predição acústica e/ou sistema de geo-referenciamento e as publicações sobre desenvolvimento ou aplicação de modelo matemático/computacional para predição de ruído do tráfego veicular foram inseridos no grupo Modelagem/simulações.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a organização em planilha eletrônica de todos os textos (publicações) para cada base de dados, iniciou-se o processo de triagem dos mesmos. A **Figura 1** mostra o quantitativo desses textos ao longo de cada etapa do mapeamento sistemático de literatura (SMS): **Etapa 1 (Inicial)** – contém todos os textos obtidos [2807 textos]; **Etapa 2** – descarte das duplicidades de textos [2388 textos]; **Etapa 3** – 1ª análise de aderência dos textos ao tema da pesquisa, pelos títulos [rótulos “S” e “T”] (1282 textos) e **Etapa 4** – 2ª análise de aderência, baseando-se nas leituras dos resumos [rótulos “S”] (989 textos).

A **Figura 1** indica uma redução dos textos entre as etapas 1 e 4 de aproximadamente 65%, devido a ocorrência de resultados com temas de outras áreas ou não relacionados, total ou parcialmente, com o assunto investigado (Ruído de tráfego veicular em áreas urbanas). Tal redução se deu também pela exclusão das duplicidades encontradas.

A **Figura 2** apresenta um recorte da planilha utilizada para as análises com exemplos de textos aderentes (“S”). As **Figuras 3 e 4** mostram as distribuições dos resultados de textos por base de dados (Etapas 1 e 4) e dos textos aderentes por ano de publicação, respectivamente.

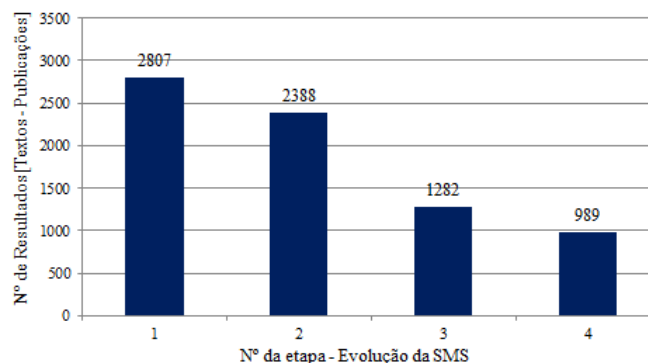


Figura 1 – Evolução do SMS versus quantidade de resultados (Textos). Legenda: (1) resultado total de textos; (2) textos sem duplicidade; (3) textos depois da 1ª análise [rótulos “S” e “T”] e (4) textos depois da leitura dos resumos [rótulos “S”].

CLASSO.	ADERÊNCI.	CLASSI.	TÍTULO	ANO	AUTOR
SC1240SD432	S	MS	Use of back-propagation neural networks to predict both level and temporal-spectral composition of sound pressure in urban sound environments	2012	Toriya, A.J.
SC831	S	PSL	Scale model study of road traffic noise reduction by planting schemes	2011	Dragonett
SC836	S	PSI	Psychoacoustic analyses of the road traffic noise predicted for 2020	2011	Fiebig, A.;
SC837	S	ES	Cross-sectional association between road traffic noise and hypertension in a population-based sample in Girona, Spain (REGICOR-AIR project)	2011	Foraster, M
SC84	S	PP	Rubberized asphalt mixtures: A novel approach to pavement noise reduction	2005	Putman, B
SC841	S	ES	Long-term exposure to traffic noise and traffic-related air pollution and coronary heart disease mortality	2011	Gan, W.; D
SC1263	S	MS	The traffic noise prediction model of a bus stop	2012	Wang, L.; C
SC1572	S	MS	A nonlinear mixed model for the assessment of traffic noise levels in urban areas	2014	Ambrosio,
SC576	S	MS	Pattern recognition and separation of road noise sources by means of ACF, MFCC and probability density estimation	2009	Valero, X.;
SC848SD285WS30	S	MA	Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju - Brazil	2011	Guedes, L.

Figura 2 – Recorte da planilha eletrônica, com exemplos de textos selecionados – aderentes ao tema “S”.

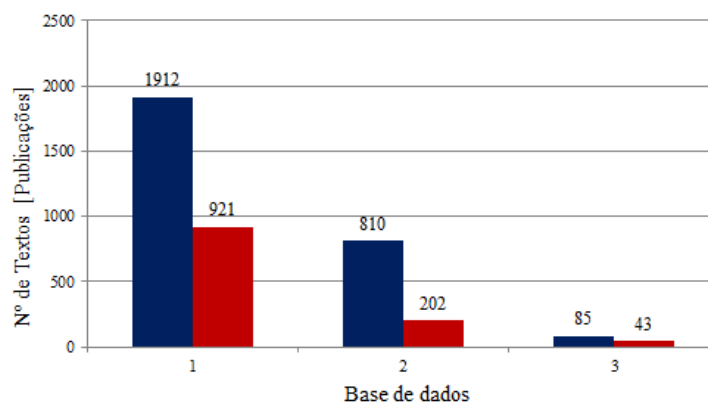


Figura 3 – Distribuição dos textos nas bases de dados. Legenda [eixo dos x]: (1) Scopus; (2) Science Direct; (3) Web of Science. Obs: Primeiros resultados de busca – Textos aderentes ou não [Azul]; Somente textos aderentes “S” [Vermelho].

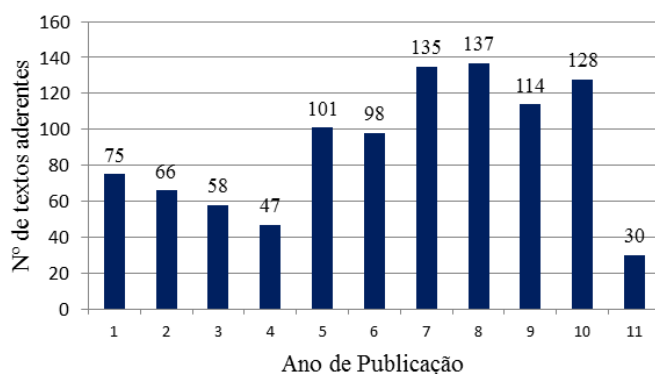


Figura 4 – Distribuição dos textos aderentes “S” por ano de publicação. Legenda [eixo dos x]: (1) 2005; (2) 2006; (3) 2007; (4) 2008; (5) 2009; (6) 2010; (7) 2011; (8) 2012; (9) 2013; (10) 2014 e (11) 2015.

Com base na **Figura 3**, observa-se uma maior contribuição de textos aderentes [barra vermelha], oriundos da base de dados *Scopus*, apontando-a como uma relevante base para pesquisa no tema investigado. Já a **Figura 4**, a despeito da leve redução nas publicações de textos aderentes ao tema entre os períodos de 2005 e 2008 (redução de aproximadamente 37%), evidencia um aumento e continuidade na produção de pesquisas científicas entre 2009 e 2014, ou seja, 713 textos (72% em relação ao número total na janela temporal em análise – 989 textos), indicando uma tendência de estudos nesta direção. A menor quantidade de publicação indicada no gráfico para o ano de 2015 é explicada em função da data de realização da coleta dos resultados nas bases de dados, que ocorreu no dia 31 de março deste ano. Pode-se, em princípio, esperar um aumento de publicação para este ano, acompanhando o padrão dos últimos anos.

Do universo de textos aderentes “S” (989 textos), 502 tiveram origem em periódicos e 487 em conferências. As **Figuras 5a e 5b** mostram os principais periódicos e conferências em termos de veículo de publicação dos textos aderentes. Com base na **Figura 5a**, percebe-se o maior destaque para o periódico *Applied Acoustics*, que proporcionou um total de 88 textos aderentes ao tema (aproximadamente 18% do total).

Ressalta-se que os textos aderentes foram provenientes de 148 periódicos diferentes. Entretanto, adotou-se como critério de definição dos principais periódicos, àqueles que representassem no mínimo 10% do total de textos aderentes obtidos (Periódicos + Conferências = 989 textos), ou seja, 10. Os outros periódicos (139 periódicos diferentes), responsáveis por 257 publicações selecionadas, em sua maioria contribuíam com um número de textos bem inferior ao valor estabelecido como limite de corte (em média, aproximadamente, 2 textos). Tais periódicos foram agrupados em “outros”, conforme **Figura 5a**.

Após a obtenção dessas informações bibliométricas gerais, foram realizadas análises mais específicas dentro do universo de textos aderentes (“S”). Essas investigações tiveram como objetivo identificar os principais subtemas ou campos de estudos, além de eventuais lacunas e/ou tendências de pesquisas. As **Figuras 6, 7 e 8** apresentam, respectivamente, os subtemas evidenciados; distribuição dos principais subtemas por ano e distribuição global das pesquisas publicadas por continente.

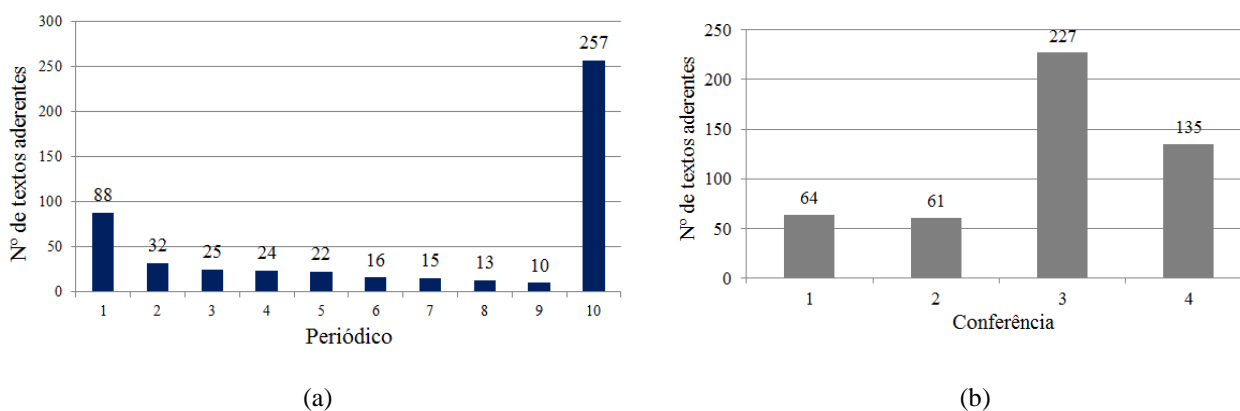


Figura 5 – Resultados dos principais veículos de publicação dos textos aderentes “S”: (a) Periódicos. Legenda [eixo dos x]: (1) *Applied Acoustics*; (2) *Journal of the Acoustical Society of America*; (3) *Science of the Total Environment*; (4) *Acta Acustica united with Acustica*; (5) *Noise Control Engineering Journal*; (6) *Environmental Monitoring and Assessment*; (7) *Transportation Research Part D: Transport and Environment*; (8) *Journal of Sound and Vibration*; (9) *Building and Environment*; (10) Outros e (b) Conferências. Legenda [eixo dos x]: (1) ICSV; (2) EURONOISE; (3) INTER-NOISE; (4) Outros.

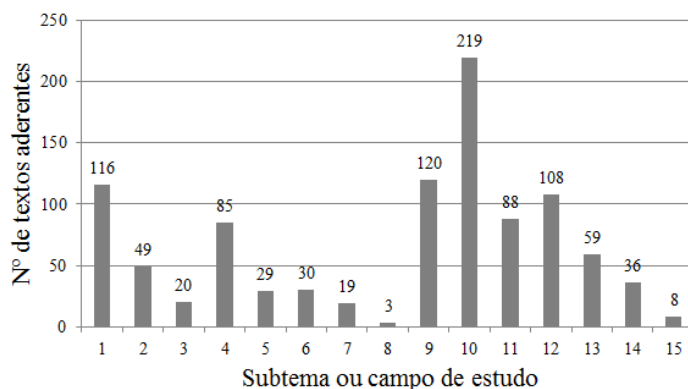


Figura 6 – Resultados dos principais subtemas ou campos de estudos em relação ao total de textos aderentes “S”: Legenda [eixo dos x]: (1) AV; (2) BA; (3) CV; (4) ES; (5) GR; (6) IRTE; (7) ISE; (8) LN; (9) MA; (10) MS; (11) PP; (12) PSI; (13) PSL; (14) SO e (15) V.

Analisando o gráfico da **Figura 6**, percebe-se que os subtemas mais relevantes em termos de publicação de textos científicos no período em questão foram: (i) MS – Modelagem/simulação (aproximadamente 22%); (ii) MA – Mapeamento acústico (aproximadamente 12%), (iii) AV – Avaliação de ruído de tráfego veicular/ medições e descritores acústicos (aproximadamente 12%) e (iv) PSI – Psicoacústica (aproximadamente 11%). Esse resultado de maior destaque para trabalhos envolvendo, principalmente, os três primeiros subtemas já era esperado diante dos avanços dos recursos computacionais e exigências de normas/legislações quanto à necessidade da avaliação/gestão do ruído ambiental, em particular, da Diretiva Europeia 2002/49/CE (PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2002). A **Figura 7** mostra uma evolução no tempo das publicações nesses principais subtemas.

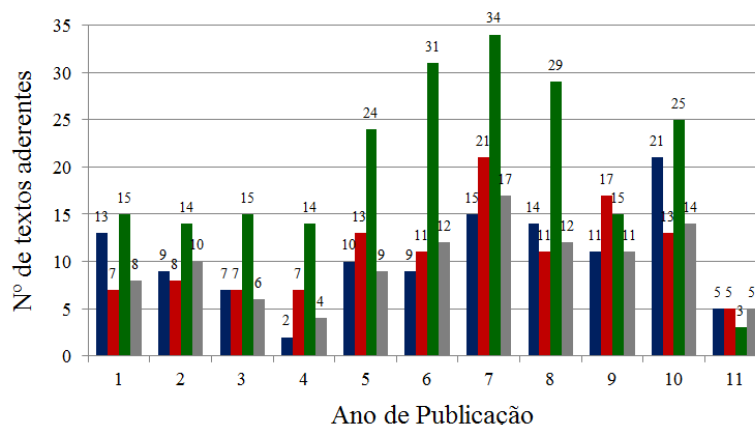


Figura 7 – Textos aderentes “S” por subtema [Azul – AV; Vermelho – MA; Verde – MS e Cinza – PSI] e ano de publicação. Legenda [eixo dos x]: (1) 2005; (2) 2006; (3) 2007; (4) 2008; (5) 2009; (6) 2010; (7) 2011; (8) 2012; (9) 2013; (10) 2014 e (11) 2015.

Analisando o gráfico da **Figura 7**, percebe-se que o número de publicações sobre mapeamentos acústicos (MA) manteve-se praticamente constante entre 2005 e 2008, com crescimento a partir de 2009, o que espelha uma possível correlação com as exigências da Diretiva Europeia 2002/49/CE. Padrão semelhante pode ser visto para o subtema modelagem/simulação (MS), porém com maior quantidade de publicações. Pelo exposto, pode-se inferir que a redução de publicação entre 2005 e 2008, observada no gráfico da **Figura 4** deve-se a influência da menor quantidade de publicação dos demais subtemas ocorrida neste mesmo período.

As informações dos parágrafos anteriores, quanto a possível influência da Diretiva Europeia 2002/49/CE nas publicações de pesquisas sobre o ruído de tráfego veicular em áreas urbanas, podem ser ainda corroboradas com a análise da **Figura 8**, uma vez que o continente europeu contribuiu com 583 textos científicos (59% do universo analisado), seguido pelo continente asiático, com 280 publicações (28%). Em relação ao mapeamento acústico, os principais continentes foram: Europa [62 textos científicos (aproximadamente 52%)], Ásia [28 textos científicos (aproximadamente 23%), sendo 15 textos da China] e América do Sul [21 textos científicos (aproximadamente 18%), sendo 17 textos do Brasil]. Tais continentes contribuíram com aproximadamente 93% das publicações científicas sobre mapeamento acústico evidenciadas no período de 2005 a 2015.

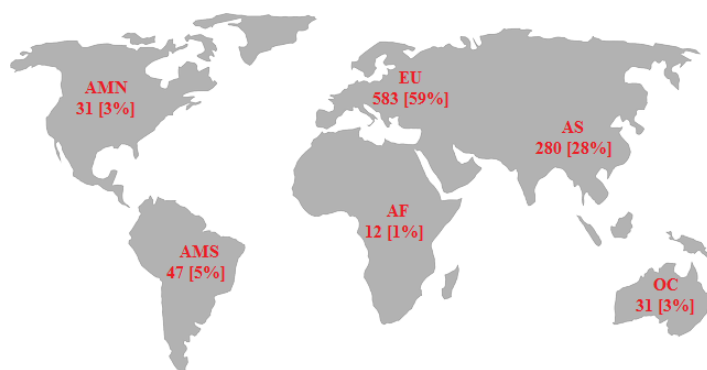


Figura 8 – Distribuição global (nº de ocorrências e porcentagem) das pesquisas publicadas referentes aos textos aderentes “S”: Legenda: AMN – América do Norte; AMS – América do Sul; AF – África; AS – Ásia; EU – Europa e OC – Oceania.

Em relação aos textos científicos envolvendo modelagem/simulação, os principais continentes foram: Europa [118 textos científicos (aproximadamente 54%)], Ásia [72 textos científicos (aproximadamente 33%), sendo 26 textos da Índia e 23 textos da China] e América do Sul [15 textos científicos (aproximadamente 7%), sendo 11 textos do Brasil]. Ou seja, um padrão de distribuição global semelhante ao observado para os estudos sobre mapeamento acústico, com uma contribuição de aproximadamente 94% no espaço temporal em análise. Em termos de AV e PSI, os continentes que mais contribuíram foram também: Europa, AV: 60 textos [52%] e PSI: 64 textos [59%] e Ásia, AV: 39 textos [34%] e PSI: 35 [32%].

A fim de identificar as eventuais lacunas e/ou tendências de estudos quanto ao subtema relacionado à tese em desenvolvimento (MS – Modelagem/simulação), realizou-se uma análise exploratória, considerando a princípio apenas os títulos dos textos selecionados.

Com isso, observou-se com que frequência e quais elementos ou equipamentos urbanos responsáveis por instabilidades no trânsito foram pesquisados na última década, uma vez que o objetivo inicial da tese em questão era investigar influências dessas instabilidades do trânsito no ruído urbano (**Figura 9**).

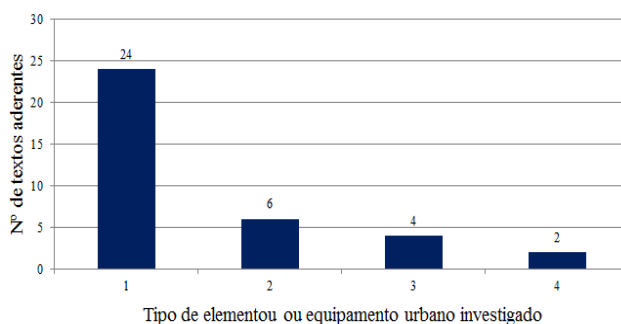


Figura 9 – Ocorrências de textos aderentes à modelagem/simulação versus tipo de elementos ou equipamentos urbanos investigados. Legenda [eixo dos x]: (1) Cruzamentos, com ou sem semáforos, (2) Redutores de velocidade, (3) Rotatórias e (4) Ponto de ônibus.

Do universo de 219 textos científicos sobre modelagem/simulação, 36 abordaram algum tipo de elemento ou equipamento urbano responsável por instabilidades no trânsito e sua influência no ruído do tráfego veicular (16%). A **Figura 9** indica uma maior ocorrência de pesquisas publicadas sobre a influência de cruzamentos, com ou sem semáforos, no ruído do tráfego veicular em áreas urbanas. Ao mesmo tempo, aponta para uma possível lacuna de estudos sobre redutores de velocidade, rotatórias e ponto de ônibus.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados neste artigo, pôde-se concluir que:

O desenvolvimento do SMS em estágios iniciais de pesquisas se mostra uma importante ferramenta para identificar lacunas e/ou tendências de estudos, possibilitando investigações com ideias inovadoras, a fim de consolidar ou criar novos conhecimentos científicos. Salienta-se que na etapa inicial do SMS, deve-se ter atenção especial nas características de buscas pelas publicações nas bases de dados selecionadas, a fim de obter maior quantidade de textos aderentes ao tema e com maior agilidade.

Os resultados indicam uma tendência de crescimento de pesquisas sobre a temática investigada – Ruído de tráfego veicular em áreas urbanas, evidenciada a partir do ano de 2009. Apontam maior predominância dos estudos sobre modelagem/simulação, mapeamento acústico, avaliação de ruído de tráfego veicular com base em medições e descritores acústicos e psicoacústica, consistindo nos principais subtemas de pesquisas realizadas na última década sobre esse tema, e em sua maioria desenvolvidas na Europa e na Ásia.

Os resultados indicam ainda uma possível lacuna de pesquisas internacionais voltadas para o estudo da influência de elementos ou equipamentos urbanos nos níveis de ruído do trânsito em áreas urbanas, com base em modelagem e simulações. Dentro deste contexto, verificou-se uma maior demanda por pesquisas,

especificamente focadas nas influências de redutores de velocidade, rotatórias e pontos de ônibus.

Como continuidade deste trabalho, será realizada a etapa de busca de textos por amostragem *snowball* – bola de neve, inserindo no universo de análise as principais referências usadas pela base de dados inicial dos textos aderentes. Enfim, com a realização desta atividade foi possível definir a questão de pesquisa da tese de doutorado em andamento no Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (FEC/Unicamp), direcionando-a para estudos mais específicos como a investigação da influência de ponto(s) de ônibus no ruído do tráfego veicular em áreas urbanas através de modelagem e simulações. Espera-se que os resultados desse artigo venham contribuir com a comunidade acadêmica, apontando caminhos para obtenção de novos conhecimentos na área.

## REFERÊNCIAS

- ABO-QUDAIS, S.; ALHIARY, A. *Statistical models for traffic noise at signalized intersections*. ***Building and Environment***, 2007, 42, 2939 – 2948.
- ARANA, M.; SAN MARTIN, R.; SAN MARTIN, M.; ARAMENDÍA, E. *Strategic noise map of a major road carried out with two environmental prediction software packages*. ***Environmental Monitoring and Assessment***, 2010, 163, 503-513
- ASENSIO, C.; LÓPEZ, J.; PAGÁN, R.; PAVÓN, I.; AUSEJO, M. *GPS-based speed collection method for road traffic noise mapping*. ***Transportation Research Part D: Transport and Environment***, 2009, 14, 360 - 366
- AVSAR, Y.; GUMUS, B. *The application of noise maps for traffic noise reduction*. ***Noise Control Engineering Journal***, 2011, 59, 715-723
- BAULAC, M.; DEFRANCE, J.; JEAN, P. *Optimisation with genetic algorithm of the acoustic performance of T-shaped noise barriers with a reactive top surface*. ***Applied Acoustics***, 2008, 69, 332 - 342
- BLANCO, J. C.; FLINDELL, I. *Property prices in urban areas affected by road traffic noise*. ***Applied Acoustics***, 2011, 72, 133 - 141
- BRAVO, T.; IBARRA, D.; COBO, P. *Far-field extrapolation of Maximum Noise Levels produced by individual vehicles*. ***Applied Acoustics***, 2013, 74, 1463 - 1472
- BRETERON, O.P.; KITCHENHAM, B.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; KHALIL, M. *Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain*. ***The Journal of Systems and Software*** 80 (2007) 571–583. 2007.
- CAI, M.; LI, F.; LIU, J. K. *Dynamic simulation and characteristics analysis of traffic noise at signal-controlled pedestrian crossing junction*. ***Noise Control Engineering Journal***, 2011, 59, 549-55
- CIANFRINI, C.; CORCIONE, M.; FONTANA, L. *Experimental verification of the acoustic performance of diffusive roadside noise barriers*. ***Applied Acoustics***, 2007, 68, 1357 - 1372
- COENSEL, B.; VANWETSWINKEL, S.; BOTTELDOOREN, D. *Effects of natural sounds on the perception of road traffic noise*. ***Journal of the Acoustical Society of America***, 2011, 129, 148-153
- DINTRANS, A; PRÉNDEZ, M. *A method of assessing measures to reduce road traffic: a case study in Santiago, Chile*. ***Applied Acoustics***, v.74, n. 12, p. 1486–1491, dez. 2013.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.06.012>
- FERNANDEZ, N.C.; DANEVA, M.; SIKKEL, L.; WIERINGA, R; DIESTE, O.; PASTOR, O. *A Systematic Mapping Study on Empirical Evaluation of Software Requirements Specifications Techniques*. ***Third International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement***. 2009.
- FIEBIG, A.; GUIDATI, S.; GENUIT, K. *Synthesis, auralization and psychoacoustic evaluation of environmental noise - Options for urban (noise) planning*. ***38th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2009***, INTERNOISE 2009, 2009, 6, 4097-4108
- FIEDLER, P. E. K.; ZANNIN, P. H. T. *Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs - Noise maps and measurements*. ***Environmental Impact Assessment Review***, 2015, 51, 1 – 9



- GUARNACCIA, C. ; QUARTIERI, J. *Analysis of road traffic noise propagation. International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 2012, 6, 926-933
- GUEDES, I. C. M., BERTOLI, S. R.; ZANNIN, P. H. T. *Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju, Brazil. Science of the Total Environment*, v. 412–413, p. 66–76, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.10.018>
- HAMMER, M. S.; SWINBURN, T. K.; NEITZEL, R.L. *Environmental noise pollution in the United States: developing an effective public health response. Environ Health Perspect*, v. 122, p. 115 – 119. 2014. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1307272>
- HUIJSSEN, J.; HALLEZ, R.; PLUYMERS, B.; DESMET, W. *A synthesis procedure for pass-by noise of automotive vehicles employing numerically evaluated source – receiver transfer functions. Journal of Sound and Vibration*, 2013, 332, 3790 - 3802
- KANG, J. *Urban sound environment*. 1. ed. New York: Taylor and Francis, 2007, 286p.
- LI, F.; CAI, M.; LIU, J.; YU, Z. *Dynamic traffic noise simulation at a signalized intersection among buildings. Noise Control Engineering Journal*, 2011, 59, 202-210
- LI, K.; LAW, M.; KWOK, M. *Absorbent parallel noise barriers in urban environments. Journal of Sound and Vibration* , 2008, 315, 239 - 257
- LIAO, G.; SAKHAEIFAR, M. S.; HEITZMAN, M.; WEST, R.; WALLER, B.; WANG, S.; DING, Y. *The effects of pavement surface characteristics on tire/pavement noise. Applied Acoustics*, 2014, 76, 14 - 23
- LICITRA, G. *Noise mapping in the EU – models and procedures*. Edited by Gaetano Licitra, CRC Press, 2013. 391p.
- LIU, Y.; YANG, B.; ZHANG, X.; GUO, J. *Analysis of noise reduction on urban road traffic sound barrier. ICLEM 2010: Logistics for Sustained Economic Development - Infrastructure, Information, Integration - Proceedings of the 2010 International Conference of Logistics Engineering and Management*, 2010, 387, 1616-1621
- MAK, K.L.; HUNG, W.T. *Statistical tyre/road noise modeling in Hong Kong on friction course. Applied Acoustics*, 2014, 76, 24 - 27
- MARKS, A.; GRIEFAHN, B. *Associations between noise sensitivity and sleep, subjectively evaluated sleep quality, annoyance, and performance after exposure to nocturnal traffic noise. Noise and Health*, 2007, 9, 1-7
- NAISH, D. A.; TAN, A. C.; DEMIRBILEK, F. N. *Estimating health related costs and savings from balcony acoustic design for road traffic noise. Applied Acoustics* , 2012, 73, 497 - 507
- NILSSON, M.; ALVARSSON, J.; RÅDSTEN-EKMAN, M.; BOLIN, K. *Loudness of fountain and road traffic sounds in a city park. 16th International Congress on Sound and Vibration 2009, ICSV 2009*, 2009, 2, 1270-1276
- NILSSON, M.; RÅDSTEN-EKMAN, M.; ALVARSSON, J.; LUNDÉN, P.; FORSSÉN, J. *Perceptual validation of auralized road traffic noise. 40th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2011, INTERNOISE 2011*, 2011, 4, 3453-3460
- NOTBOHM, G.; SCHMOOK, R.; SCHWARZE, S.; ANGERER, P. *Patterns of physiological and affective responses to vehicle pass-by noises. Noise and Health*, 2013, 15, 355-366
- ONAGA, H.; RINDEL, J. *Acoustic characteristics of urban streets in relation to scattering caused by building facades. Applied Acoustics*, 2007, 68, 310-325
- OSHIMA, T.; II, M. *Field measurements on wind effects to propagation of road traffic noise over open and flat ground. Applied Acoustics*, 2013, 74, 141 – 149.
- PAPADIMITRIOU, K.; MAZARIS, A.; KALLIMANIS, A.; PANTIS, J. *Cartographic representation of the sonic environment. Cartographic Journal*, 2009, 46, 126-135
- PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. **Diretiva 2002/49/CE de 25 de junho de 2002**. Relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

- PAUNOVIĆ, K.; BELOJEVIĆ, G.; JAKOVLJEVIĆ, B. *Blood pressure of urban school children in relation to road-traffic noise, traffic density and presence of public transport. **Noise and Health***, 2013, 15, 253-260
- PICAUT, J.; BÉRENGIER, M.; ROUSSEAU, É. *Noise impact modelling of a roundabout. **International Congress on Noise Control Engineering 2005***, INTERNOISE 2005, 2005, 5, 4217-4226
- RÅDSTEN-EKMAN, M.; AXELSSON, O.; NILSSON, M. *Effects of sounds from water on perception of acoustic environments dominated by road-traffic noise. **Acta Acustica united with Acustica***, 2013, 99, 218-225
- RUIZ, J. A.; GRANJA, A. D. Um mapeamento sistemático da literatura sobre a relação entre o valor e colaboração na construção. In: 8 Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção Inovação e Sustentabilidade. Salvador. **Anais...** Salvador: SIBRAGEC, 2013.
- RUOTOLO, F.; MAFFEI, L.; GABRIELE, M. D.; IACHINI, T.; MASULLO, M.; RUGGIERO, G.; SENESE, V. P. *Immersive virtual reality and environmental noise assessment: An innovative audio - visual approach. **Environmental Impact Assessment Review***, 2013, 41, 10 - 20
- SAMARA, T.; TSITSONI, T. *The effects of vegetation on reducing traffic noise from a city ring road. **Noise Control Engineering Journal***, 2011, 59, 68-74
- SINGAL, S. P. *Noise pollution and control strategy*. Oxford: Alpha Science International, 2005. 323p.
- SOUZA, L. C. L. D.; GIUNTA, M.B. *Urban indices as environmental noise indicators. **Computers, Environment and Urban Systems***, v. 35, 5, 2011, p.421-430.
- SUAREZ, E.; BARROS, J. *Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile. **Science of The Total Environment***, v.466-467, 539 – 546, 2014.
- SZEREMETA, B.; ZANNIN, P.H.T. Analysis and evaluation of soundscapes in public parks through interviews and measurement of noise. ***Science of the Total Environment***, v. 407, p.6143-6149, 2009.
- THOMAS, P.; BOES, M.; VAN RENTERGHEM, T.; BOTTELDOOREN, D.; HORNIKX, M.; DESMET, W.; NILSSON, M. *Auralisation of a car pass-by behind a low finite-length vegetated noise barrier. **Proceedings - European Conference on Noise Control***, 2012, 932-937
- VAN RENTERGHEM, T.; BOTTELDOOREN, D.; HORNIKX, M.; Jean, P.; DEFRANCE, J.; Smyrnova, Y.; KANG, J. *Road traffic noise reduction by vegetated low noise barriers in urban streets. **Proceedings - European Conference on Noise Control***, 2012, 944-948
- WANG, B.; KANG, J. *Effects of urban morphology on the traffic noise distribution through noise mapping: A comparative study between UK and China. **Applied Acoustics***, 2011, 72, 556 - 568
- WANG, L.; CAI, M.; ZOU, J. *The traffic noise prediction model of a bus stop. **41st International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2012***, INTERNOISE 2012, 2012, 11, 9254-9265
- ZANNIN, P. H. T.; DE SANT'ANA, D. Q. *Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project - A case study in Brazil. **Applied Acoustics*** , 2011, 72, 479 - 486

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro através da bolsa de doutorado pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (FEC/Unicamp).